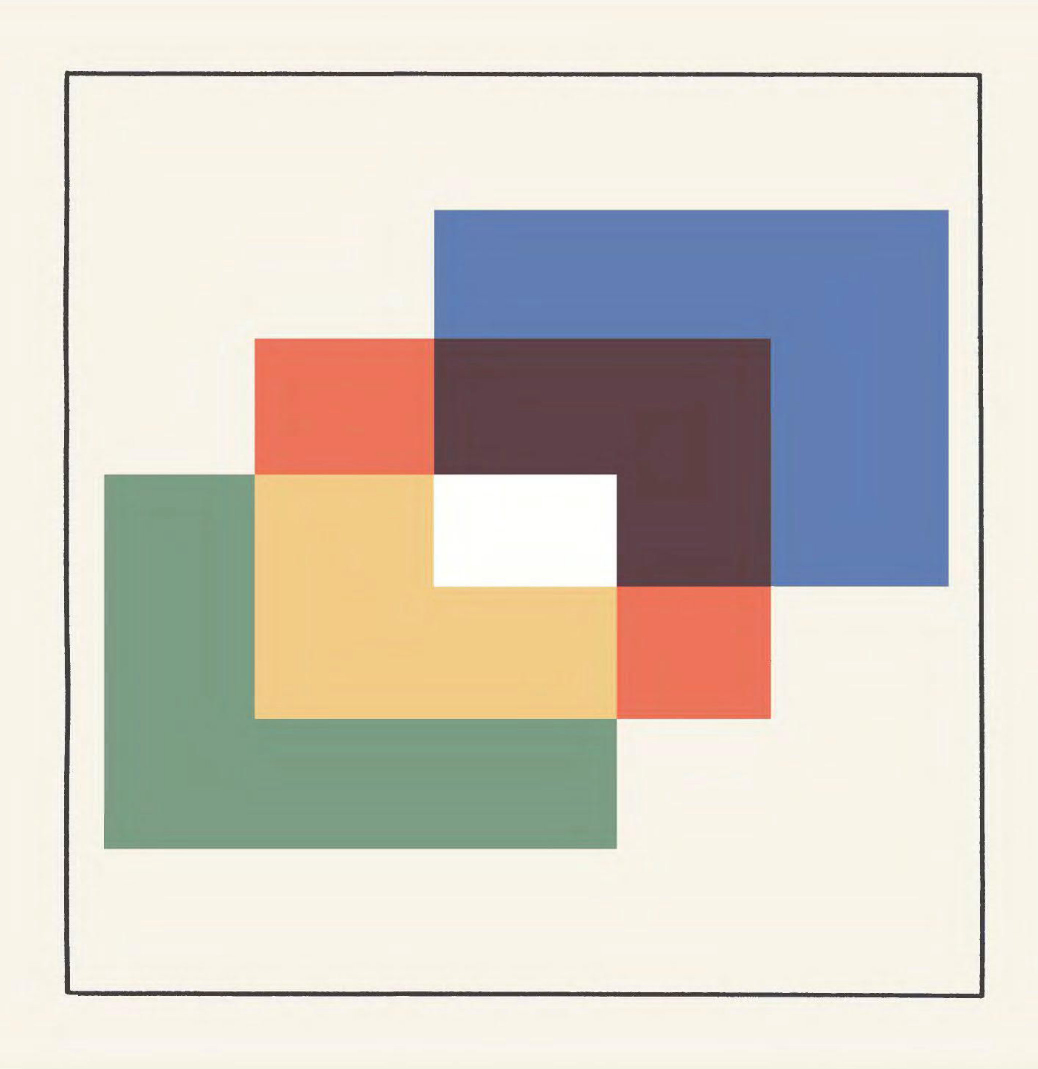
Г. Б. БОГАТОВ

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ



·НАУКА·
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Наука и технический прогресс»

Г. Б. БОГАТОВ

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ



ЛЕНИНГРАД
«НАУКА»
Ленинградское отделение
1978

УДК 621.397.132

Цветное телевидение. Богатов Г. Б., Л., «Наука», 1978. 192 с.

В книге описываются физические основы и принципы построения систем цветного телевидения. Рассматриваются особенности принятой для цветного телевизионного вещания в СССР системы СЕКАМ и устройство ее основных частей. Подробно описываются процессы, происходящие в цветных телевизионных приемниках. Значительное внимание уделяется вопросам цветовосприятия и цветовоспроизведения, что поможет телезрителю правильно пользоваться цветным телевизором. Описываются методы записи и воспроизведения цветных телевизионных программ. Затрагиваются вопросы применения цветного телевидения в медицине, промышленности и научных исследованиях, а также перспективы развития плоскостного и объемного цветного телевидения.
Фактический материал представлен с таким расчетом, чтобы не отсылать читателя к другим источникам для ознакомления с принципами действия телевидения и элементов телевизионных систем. Книга предназначена для широкого круга подготовленных читателей, интересующихся состоянием и перспективами развития цветного телевидения. Лит. — 56 назв., ил. — 69.

Ответственный редактор

А. В. КОРОЛЕВ

Геральд Борисович Богатов

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Утверждено к печати Редколлегией серии научно-популярных изданий Академии наук СССР

Редактор издательства **Т. И. Сушкова.** Художник **И. П. Кремлев**
Технический редактор **М. Н. Кондратьева**
Корректоры **Э. Н. Липпа** и **Г. А. Мошкина**

ИБ № 8270

Сдано в набор 29.08.77. Подписано к печати 21.03.78. М-08378. Формат $84\times108^1/_{32}$. Бумага типографская № 2. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Печ. л. 6+3 вкл. ($^3/_{16}$ печ. л.) = 10.40 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 10,46. Тираж 50 000. Изд. № 5766. Тип. зак. № 684. Цена 70 к.

Издательство «Наука», Ленинградское отделение, 199164, Ленинград, В-164, Менделеевская линия, д. 1

1-я типография издательства «Наука», 199034, Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

Б $\frac{30403\text{-}201}{054(02)\text{-}78}$ 8-77 НП

© Издательство «Наука», 1978 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ

Человечество накапливает знания с огромной скоростью, получая информацию из различных источников. Телевидение в нашей стране, как нигде в мире, доводит до широких масс все возрастающую часть этой лавины информации. Воспроизведение изображений в цвете и объеме является для нас предпочтительным, эстетически гораздо более приятным и радостным по сравнению с воспроизведением плоских черно-белых изображений. Цвет, помимо выявления скрытых в черно-белом изображении деталей, подчеркивает определенность контуров и переходов. Плоское изображение при наличии цвета ощущается в определенной мере объемным. Но красота оттенков не только приятна — цвета активно воздействуют на чувства человека. Незаметно для нас цвета могут изменить наше настроение. Важно и то, что объем информации, сохраняющийся в нашей памяти, оказывается бо́льшим при наблюдении цветных изображений. Наконец, привычка наблюдать цветное изображение утончает наше ощущение красоты.

Касаясь же применения телевидения в промышленности, энергетике, транспорте, связи, медицине, учебном процессе, исследовании космоса и подводных глубин, научных исследованиях и испытаниях разного рода на земле следует заметить, что введение цвета вносит новое качество и в ряде случаев имеет неоспоримое преимущество перед черно-белым телевидением, а иногда является просто незаменимым инструментом исследования и контроля.

В результате многолетнего труда ученых, инженеров, техников, рабочих, творческих коллективов были подготовлены регулярные передачи программ цветного телевидения в СССР, которые начались 1 октября 1967 г. Задолго до этого цветные телевизионные устройства начали применять в различных отраслях народного хозяйства нашей страны, в медицине, при проведении научных исследований и т. д.

Глава 1

СВЕТ И ЕГО ВОСПРИЯТИЕ

В телевидении информация о движущемся изображении (с натуры или с какого-либо носителя информации) передается электрическими сигналами по радио или проводам. Телевидение основано на преобразовании световой энергии оптического изображения в энергию электрических сигналов, передаче этих сигналов от передающего устройства к приемному и обратного преобразования электрической энергии сигналов в световую энергию воспроизводимого изображения. Эти преобразования тесно связаны со свойствами света и особенностями его восприятия зрением человека.

Свет и цвет

Свет дает возможность нам видеть и изучать окружающие нас предметы. Свет — это электромагнитные колебания определенного диапазона длин волн (рис. 1). Длина волны λ, выраженная в метрах, связана с частотой электромагнитных колебаний ν (в герцах) и скоростью света c (в метрах на секунду) соотношением: $\lambda = c/\nu$.

Огромный диапазон электромагнитных колебаний занимают радиоколебания, которые мы используем по выбору и в соответствии с имеющимися приборами. Своим телевизором, радиокомпасом, радиолокатором мы избираем из множества электромагнитных колебаний различных частот лишь нужные нам и либо наслаждаемся телевизионной передачей, либо ведем лайнер по заданному маршруту, либо обнаруживаем стихийную или рукотворную опасность. Этому же диапазону принадлежат высокочастотные колебания, которыми мы плавим металл или лечим внутренние органы человека. Далее следует диапазон колебаний инфракрасного излучения. Используя специальные приборы, при помощи инфракрас-

ных лучей мы видим в темноте и в тумане. К электромагнитным колебаниям светового диапазона близко примыкают ультрафиолетовые лучи, широко применяемые в медицине и химии. Рентгеновские и γ-лучи обладают способностью пронизывать тела, что и используется в целях диагностики и дефектоскопии. За жесткими γ-лучами по шкале следуют жесткие космические лучи, сообщающие нам сведения о процессах, происходящих в глубинах Вселенной.

Из безграничного спектра создаваемых природой и человеком электромагнитных колебаний наши органы чувств регистрируют лишь ничтожную их часть. Еще меньшую долю этого спектра органы чувств человека могут подвергнуть анализу, который может быть осуществлен лишь аппаратом зрения. Действительно, излучения, имеющие длины волн в пределах от 380 до 770 нм, действуя на глаз, вызывают у человека световые ощущения. При этом зрительный аппарат человека регистрирует их не только количественно, реагируя на интенсивность света, но и качественно, фиксируя спектральный состав света. Ощущение цвета и света — это субъективная реакция человека на существующие в природе электромагнитные колебания, отражаемые, преломляемые, поляризуемые, пропускаемые, поглощаемые и излучаемые окружающими нас телами. Предметы «светятся» излучениями огромного диапазона частот, но мы способны регистрировать и анализировать не все излучения, идущие от тел, а только лишь электромагнитные колебания в названном выше световом диапазоне.

Если от Солнца или искусственного источника направить узкий пучок белого света на стеклянную призму, то на экране с противоположной ее стороны наблюдается радужное чередование цветов. Белый свет пространственно разлагается призмой на веер составных его частей, представляющих собой для нашего сознания красные, оранжевые, желтые, зеленые, голубые, фиолетовые и многие, многие другие световые лучи, имеющие промежуточные цветовые тона. Белый свет, таким образом, является механической смесью многообразия электромагнитных колебаний различных частот. Еще в 1666 г. Исаак Ньютон показал это простым экспериментом, используя две призмы. Пучок белого света был направлен на первую призму и получен на противоположной ее

стороне как цветовой спектр. Затем Ньютон расположил на пути спектра лучей вторую призму, на выходе которой был получен пучок белого света (рис. 2, *а*).

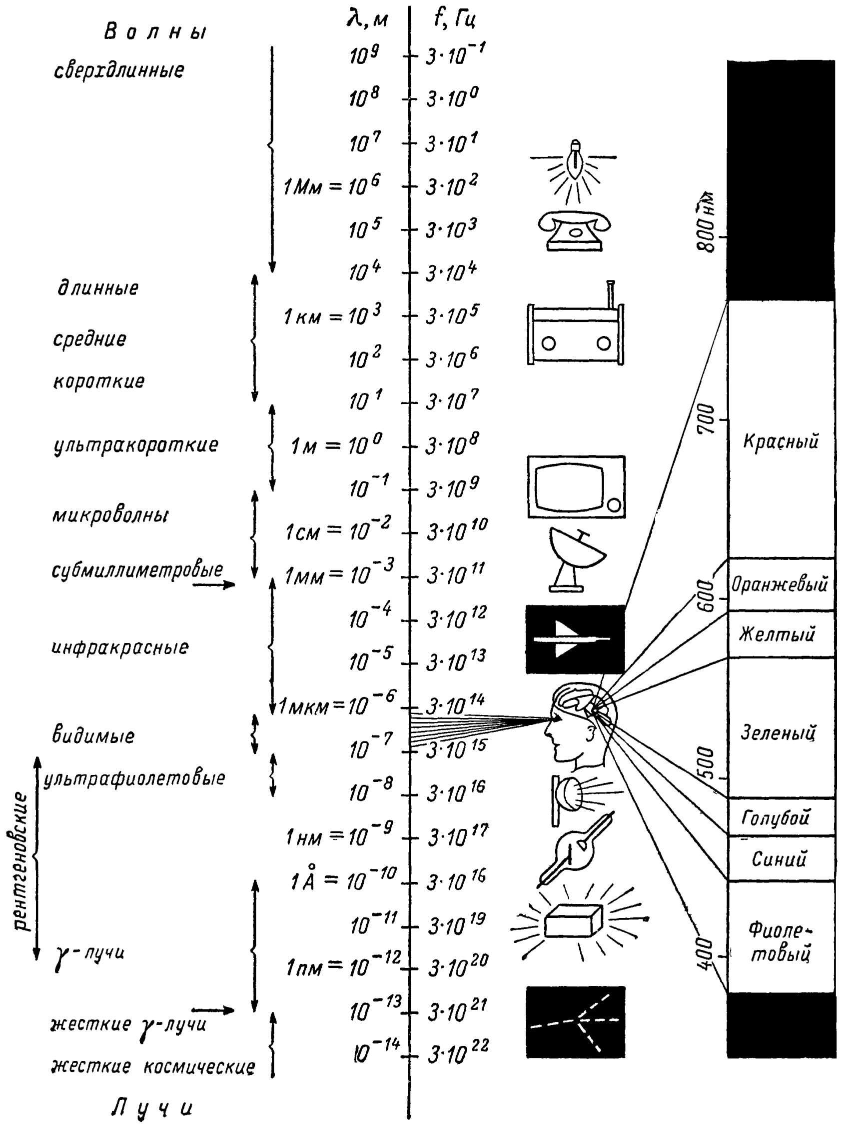


Рис. 1. Шкала электромагнитных колебаний.

Призма — брусок стекла в форме клина — разлагает, «развертывает» световое излучение по длинам волн. Наибольшая длина волны видимого света соответствует крас-

ным лучам, наименьшая — фиолетовым. Изменение направления движения лучей в стекле обусловлено свойством стекла замедлять движение света. В стекле свет движется примерно в полтора раза медленнее, чем в воздухе. Падающий луч отклоняется в призме к нормали N_1N_2 (рис. 2, *б*) на некоторый угол, поскольку скорость света в стекле уменьшается; луч, выходящий из призмы, отклоняется от нормали N_3N_4 на такой же угол, и скорость света опять возрастает. Так как нормали к граням призмы не параллельны друг другу, то призма меняет направление проходящих через нее лучей, которые всегда отклоняются в сторону утолщенной части стекла. В любой среде скорость распространения света зависит от длины его волны, причем свет замедляется в стекле тем сильнее, чем она меньше. Именно поэтому красные лучи отклоняются призмой меньше, чем, например, синие лучи, имеющие меньшую длину волны.

Свет определенной длины волны, или частоты колебаний, носит название монохроматического. Если направить на призму (рис. 2, *б*) такой простой луч света, например зеленый, то произойдет лишь его преломление. На выходе призмы мы получим все тот же зеленый луч, лишь несколько ослабленный по интенсивности (за счет некоторого поглощения, рассеяния и отражения света стеклом призмы), но не измененный по своему качеству, т. е. это будет электромагнитное колебание той же длины волны. В действительности же волновые колебания не бывают идеально монохроматическими, они соответствуют некоторому интервалу частот, хотя этот интервал может быть и очень узким.

Восприятие цвета зрением

Попадающий в глаз свет вызывает не только ощущение яркости B, пропорциональное мощности падающего пучка, но и ощущение цветового тона и чистоты цвета данного излучения, характеризующие его качественно. Цветовой тон определяет длина волны спектрального цвета λ, а чистоту цвета P — степень разбавления спектрального цвета белым цветом. Чистоту, или насыщенность, тона оценивают как отношение яркости монохроматического излучения к яркости разбавляющего его белого цвета и выражают в процентах. Насыщенность белого цвета

принимают равной нулю, а насыщенность спектральных цветов — соответственно 100%.

Цвет называют чистым, если источник света содержит излучение только одной длины волны, т. е. его насыщенность равна 100%. В реальных условиях такие цвета не встречаются. Практически удается выделить узкие участки спектра, в пределах которых в сознании наблюдателя создается ощущение одного и того же цвета. Такие цвета называют однородными. Число цветовых тонов, различаемых нами в цветах максимальной насыщенности, равно примерно 180. В пределах одного цветового тона можно различить от 4 (для желтого) до 25 (для красного) ступеней насыщенности. Цвета, обладающие различными цветовыми тонами, называются хроматическими (зеленый, красный и т. д.).

Цвета, получающиеся при изменении яркости источника белого цвета, носят название ахроматических. Они могут принимать все градации нейтрального серого цвета — от белого до черного; эти цвета характеризуются только яркостью. Наше зрение способно отличить друг от друга лишь ограниченное их число — около 660.

Если за общее число различных цветов, ощущаемых нами, принять произведение числа различимых ступеней насыщенности, цветовых тонов и яркости, то получим число, большее миллиона. Однако так подсчитывать нельзя, ибо число различимых цветовых тонов изменяется в зависимости от яркости и насыщенности. В действительности мы различаем порядка нескольких тысяч или нескольких десятков тысяч хроматических тонов. В словаре же существует около 300 названий цветов, поэтому все богатство красок окружающего нас мира описать словами невозможно.

Наиболее чувствителен аппарат зрения к желто-зеленым лучам с длиной волны 555 нм. В обе стороны от этих лучей (к красному и фиолетовому концам спектра) чувствительность уменьшается. На рис. 3, *а* приведены кривые видности аппарата зрения, которые показывают зависимость ощущаемой нами яркости от действия источников с различными длинами волн и одинаковыми мощностями излучения. Кривая *1*, соответствующая нормальным освещенностям, почти совпадает с кривой распределения энергии солнечного света, отражаемого и рассеиваемого зелеными растениями. Это свидетельствует

об удачном приспособлении зрения к реальным условиям жизни на Земле. При очень слабых освещенностях кривая видности 2 сдвигается в синюю область спектра относительно кривой для ярких освещений. Кривая 1 соответствует колбочковому, а кривая 2 — палочковому

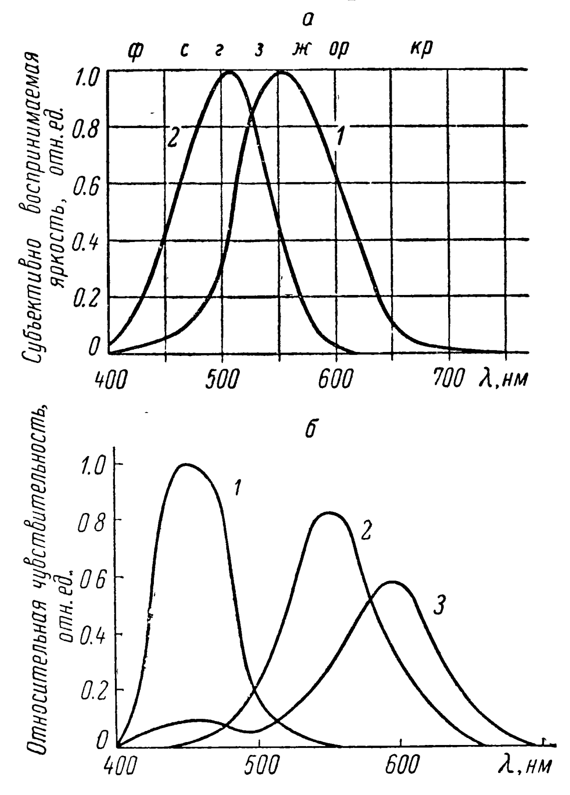


Рис. 3. Кривые спектральной чувствительности (видности).

а — нормального глаза, адаптированного к дневному (*1*) и вечернему (*2*) освещению, *б* — различных приемников света: *1* — синего, *2* — зеленого, *3* — красного.

аппаратам зрения. Окраска предмета при естественном и при искусственном освещениях воспринимается нами по-разному. Причина этого кроется в различном распределении лучистого потока в спектрах дневного освещения и искусственных источников света.

Если увеличить интенсивность света, падающего на поверхность тела, то мы не внесем перераспределения в спектральный состав отраженных лучей, а лишь изменим их количество, ощущаемое как яркость. При этом

может измениться и субъективное ощущение цвета. С увеличением яркости цвета́, относящиеся к коротковолновой области спектра, начинают синеть, а к длинноволновой — желтеть. Исключение составляют три постоянных спектральных цвета: синий, зеленый и желтый, а также постоянный неспектральный чистый цвет — пурпурный. Способность к различению цветовых тонов и насыщенностей снижается как при низких, так и при высоких уровнях освещенности. При яркости, выше некоторого оптимального значения, происходит уменьшение цветовой насыщенности вплоть до полного обесцвечивания или ахроматизации. Это относится к нечистым спектральным цветам. В области абсолютного яркостного порога все цвета, за исключением красного, вызывают ахроматические ощущения. При малых интенсивностях света цвет вообще не ощущается. Если постепенно повышать яркость, то сначала воспринимается голубой цвет, затем зеленый, а последним — красный. Разница между абсолютным (ахроматическим) яркостным порогом и минимальной яркостью, при которой данный цветовой тон становится едва заметным, называется фотохромным интервалом. Для значительной части рабочего диапазона возрастание яркости выше хроматического порога сопровождается увеличением цветовой насыщенности. Яркость, необходимая для достижения максимальной цветовой насыщенности, зависит от длины волны. Синие, красные и пурпурные цвета кажутся сильно насыщенными даже при низких уровнях яркости. Желтые и зелено-желтые становятся наиболее насыщенными при относительно больших яркостях.

Изменение цветовых ощущений может происходить и в результате цветовой адаптации. Постоянное цветовое воздействие в течение 1—2 мин. вызывает ощущение снижения цветовой насыщенности.

Излучения, различающиеся по спектральному распределению энергии, могут вызывать одинаковое цветовое ощущение; такие цвета называют метамерами.

Способность наблюдателя замечать изменения цветового тона при изменении длины волны излучения неодинакова для различных участков спектра — максимальна она в четырех из них: около 440, 485, 575, 670 нм.

Лучи некоторых пар хроматических цветов, смешанные в определенной пропорции, дают впечатление ахроматического цвета. Такие цвета называются дополнитель-

ными. К ним относятся, например: красный и голубой, зеленый и пурпурный, синий и желтый и т. д.

Пурпурные цвета представляют собой результат смешения в разной пропорции красных и фиолетовых или синих цветов. Если в смеси преобладает фиолетовый или синий цвет над красным, мы получаем сиреневые и вишневые цвета. В противоположном случае, когда красный цвет преобладает над фиолетовым или синим цветами, получаются малиновые тона.

Поскольку пурпурные цвета отсутствуют в спектре электромагнитных колебаний, они не могут быть охарактеризованы цветовым тоном. Поэтому разные пурпурные цвета обозначаются длинами волн соответствующих им дополнительных цветов. В этом случае символ длин волн дополнительных цветов снабжают штрихом. Так, например, $\lambda'=540$ нм означает пурпурный цвет, дополнительным к которому является зеленый цвет с цветовым тоном $\lambda=540$ нм.

В настоящее время существует несколько теорий цветового зрения. Физическая сущность систем цветного телевидения, принятых для телевизионного вещания, основана на смешении цветов, использующем трехкомпонентность цветового зрения человека. Установлено, что наименьшее количество цветов, из которых могут быть получены реальные сложные цвета, равно трем. Это вызвало предположение о том, что светочувствительные органы нашего глаза содержат три вида приемников света, каждый из которых создает ощущение в результате возбуждения световым колебанием определенной длины волны. При раздельном раздражении каждого вида приемников света возникают соответственно ощущения насыщенных (красного, зеленого и синего) цветов. При любом воздействии света возбуждаются все три вида приемников, но возбуждаются они неодинаково. Так, первый вид приемников чувствителен преимущественно к длинноволновой части спектра (красно-оранжевой), второй вид — к средневолновому излучению (зеленому) и третий вид — к коротковолновой части спектра (сине-фиолетовой) (рис. 3, *б*).

Согласно трехкомпонентной теории цветового зрения, воспринимаемый глазом свет раздражает три вида приемников света одновременно и совокупность трех различных возбуждений ощущается одним цветом. Глаз

как бы анализирует воздействующий на него свет, определяя в нем относительное содержание длинноволновых, средневолновых и коротковолновых лучей, и затем синтезирует в сознании наблюдателя три возбуждения в один цвет.

В возможности получения различных цветов путем смешения световых пучков различного цвета можно убедиться следующим образом. Направим на белый экран зеленый, синий и красный световые потоки от трех про-

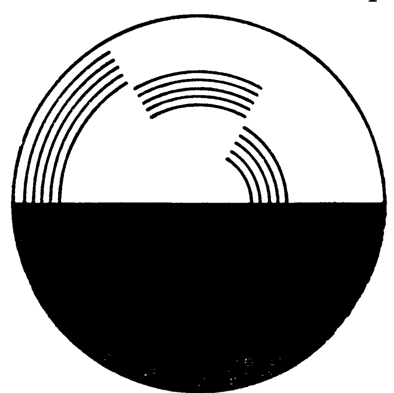


Рис. 5. Диск Бенхэма.

екционных фонарей. Если изменять силу света от каждого фонаря, то на экране можно получить огромное разнообразие цветовых тонов и большое число градаций насыщенности. Такое смешение трех основных цветов (рис. 4, *а*), основанное на смешении световых потоков, называется слагательным (аддитивным). Смешение цветов наблюдается и в том случае, когда поверхность экрана освещается теми же источниками света последовательно, но с достаточно большой скоростью чередования. Этот эффект обусловлен инерционностью зрительного восприятия. Аддитивное смешение используется в цветном телевидении, где находят применение и некоторые другие свойства зрения, например пространственное смешение цветов. В этом случае три мелких цветных элемента (точки или линии), соприкасаясь друг с другом, располагаются вперемежку на экране (рис. 4, *б*, *в*). С некоторого расстояния наблюдатель перестает различать отдельные цветные элементы. В его сознании создается ощущение однородно окрашенных участков с точно таким же цветом, как и при одновременном или последовательном перекрывании световыми потоками одной боль-

шой поверхности. Результаты смешения не зависят от того, действуют ли цветовые раздражители одновременно или в быстрой последовательности.

В цветном объемном телевидении используется также эффект бинокулярного смешения цветов. Если человек наблюдает изображение одного и того предмета в различных цветах (последовательно или одновременно), то вследствие слияния возбуждений, поступающих в мозг от правого и левого глаза, создается впечатление об окраске объекта в результирующий цвет.

В 1826 г. французским монахом Бенедиктом Превостом было открыто явление иллюзорного цвета. При перевертывании белой прямоугольной карточки так, чтобы она прерывала луч белого света в затемненном ящике, Превост наблюдал спектр цветов от фиолетового через зеленый до красного. Наиболее известным методом создания иллюзорного цвета является применение диска Бенхэма. Этот диск (рис. 5) имеет две равные части: черную и белую. На белый сектор диска наносится ряд черных дуг. При вращении диска со скоростью около 5—15 об./с и освещении его белым светом у наблюдателя возникает ощущение наличия на поверхности диска слабо окрашенных колец. При вращении диска против часовой стрелки дуги (начиная от внешней) будут казаться красной, желтой или желто-зеленой, зеленой или зелено-голубой и голубой. Если вращение диска производить по часовой стрелке, расположение иллюзорных цветов будет обратным. Возможность имитации цветов специально подобранными мельканиями яркости используется для окрашивания изображений в некоторых экспериментальных системах цветного телевидения.

Измерение цвета

Факт смешения цветов может быть записан в виде уравнения:

$$f'F = r'\text{к} + g'\text{з} + b'\text{с},$$

где r', g' и b' — модули цветов, обозначающие количества красного, зеленого и синего, которые в смеси эквивалентны количеству f' цвета F. Модуль суммы цветов равен сумме модулей складываемых цветов, поэтому $1 = r'/f' + g'/f' + b'/f'$. Отношения модулей основных цве-

тов к модулю результирующего цвета называются трехцветными коэффициентами и обозначаются, соответственно, через r, g и b. Тогда $F = r\text{К} + g\text{З} + b\text{С}$. Трехцветные коэффициенты показывают, в каком соотношении нужно смешивать основные цвета для получения заданной цветовой смеси.

Количество различных цветов, которое может быть образовано путем смешения трех цветов, зависит от вы-

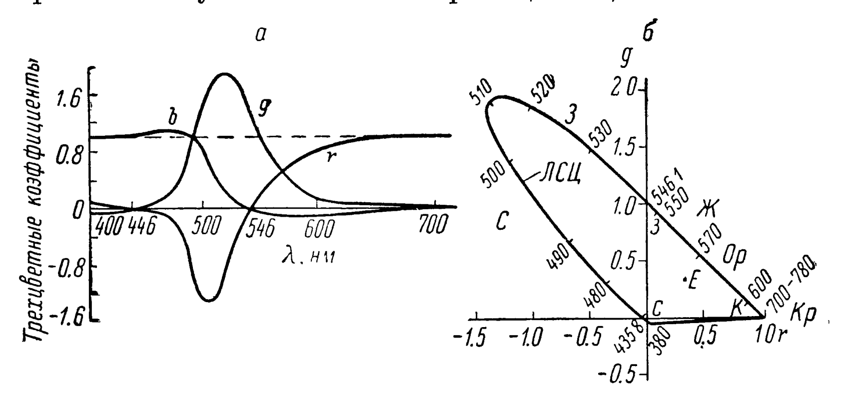


Рис. 6. Графические зависимости значений трехцветных коэффициентов в колориметрической системе КЗС (*а*) и цветовой график системы КЗС (*б*).

ЛСЦ — линия спектральных цветов.

бора исходных составляющих. Основные (первичные) цвета выбирают с таким расчетом, чтобы эти три цвета были взаимонезависимыми, т. е. ни один из них не должен получаться при смешении двух других. Международный комитет по освещению (МКО) за основные принял цвета монохроматического излучения с длинами волн 700 (красный), 546 (зеленый) и 436 нм (синий). На рис. 6, *а* по ординате приведены соотношения, в которых нужно смешивать монохроматические излучения К, С и З с указанными длинами волн для получения смеси, вызывающей ощущение однородного излучения, длина волны которого обозначена на абсциссе. Для длин волн, меньших 650 нм, один из трехцветных коэффициентов всегда является величиной отрицательной. Понятие «отрицательный цвет» лишено физического смысла, но в данном случае это говорит о том, что смешением монохроматических излучений нельзя получить чистый спектральный цвет, т. е. смесь не будет обладать 100%-ной насыщенностью.

Выбранные основные цвета образуют систему выражения цветов — цветовую координатную систему. Поскольку цвет является трехмерной величиной (характеризуемой яркостью, цветовым тоном и насыщенностью), то цвета отражающих и прозрачных предметов могут представляться точками в так называемом цветовом пространстве. Если же отвлечься от количества и принимать во внимание только качество, т. е. насыщенность и цветовой тон цвета, то, имея в виду соотношение $r+g+b=1$, можно перейти к решению задач на плоскости двух переменных, например r и g. Величина (координата) третьей переменной b находится из выражения $b=1-r-g$.

Для построения цветового графика (рис. 6, *б*) будем откладывать по абсциссе величину r, а по ординате — величину g. Точка с координатами $r=1$, $g=0$, т. е. $b=0$, соответствует на графике положению единичного цвета К. Единичный цвет С расположен в начале координат ($r=0$, $g=0$, $b=1$), внутри треугольника КЗС — все реальные цветности, полученные от смешения К, З и С. Основные цвета системы задаются через четвертый, опорный для данной системы белый цвет. Удобным при построении цветовых графиков является равноинтенсивный белый цвет, получаемый от смешения одинаковых количеств монохроматических излучений с указанными выше длинами волн и обозначаемый буквой E. Положение точки E на графике определится координатами $r=1/3$ и $g=1/3$. Наиболее насыщенные цвета, получаемые от смешения основных К, З и С, расположены вдоль прямых, соединяющих вершины треугольника. По мере приближения к точке E насыщенность цвета уменьшается. Нанесем на график точки, соответствующие положению чистых спектральных цветов. Для этого воспользуемся трехцветными коэффициентами, которые и являются координатами насыщенных цветов. Соединив точки, получим линию спектральных цветов. Этот график обладает тем недостатком, что координаты некоторых цветов имеют отрицательные значения, а это затрудняет расчеты.

МКО разработал колориметрическую систему, в которой все реальные цвета изображаются положительными составляющими. Точка E занимает центр тяжести прямоугольного треугольника, образованного фиктивными основными цветами X, Y и Z (рис. 7). Определение цветностей, которые можно получить от смешения каких-ни-

будь трех основных цветов, производится нанесением на график точек, соответствующих этим трем цветам, и построением треугольника, внутри которого и расположатся цветности смеси. Цвета, лежащие в области между сторонами треугольника и кривой спектральных цветов, не могут быть получены смешением основных цветов.

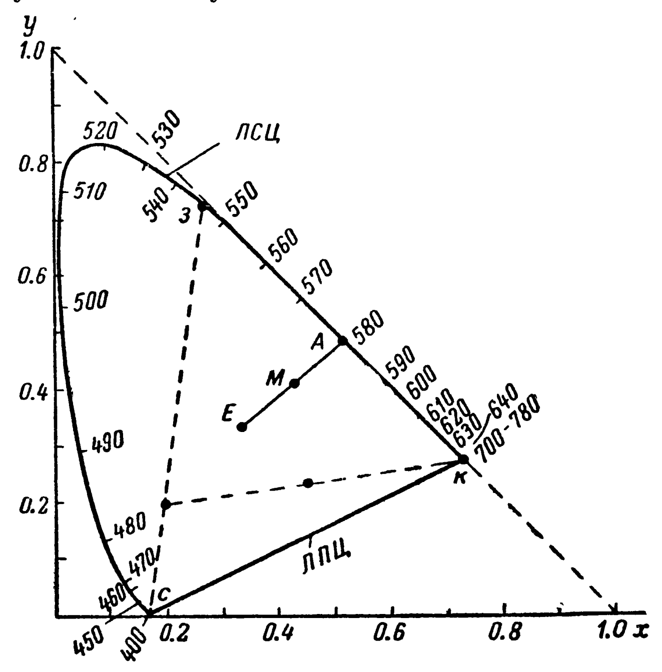


Рис. 7. Цветовой график колориметрической системы XYZ. ЛСЦ — линия спектральных цветов; ЛПЦ — линия пурпурных цветов.

Цветовой график построен таким образом, что точки смеси двух цветов всегда лежат на прямой, соединяющей точки смешиваемых цветов. Проводя прямые через „белую" точку *E*, получают в пересечении со спектральной кривой дополнительные цвета. Взятые в определенной пропорции два дополнительных цвета дают в сумме белый цвет. Если провести из точки *E* прямую до пересечения со спектральной кривой, то на этой прямой окажутся все цвета, представляющие собой смеси белого цвета с определенным спектральным. Таким образом, положение точки на этой прямой определяет насыщенность данного цвета. Чем ближе точка *M* к линии спектральных цветов, тем больше

будет насыщенность цвета. В точке A насыщенность цвета равна 100%, а в точке E — нулю.

Располагая тремя исходными цветами, простым сложением можно получить все цветовые тона и большое число градаций насыщенности, ограниченные на цветовой диаграмме треугольником, вершинами которого служат выбранные исходные цвета. Если в качестве исходных взять четыре цвета, то суммированием можно воспроизвести все цвета, находящиеся внутри четырехугольника, вершинами которого служат исходные цвета. При соответствующем выборе четырех основных цветов область реальных цветов может быть охвачена более полно. Сложением шести-семи цветов можно практически получить все реальные цвета.

Современные системы цветного телевидения в большинстве случаев трехцветные, т. е. основаны на передаче сигналов трех основных цветов. В принципе возможно создание двух-, четырех-, пяти- и более многоцветных систем. Многоцветные системы не применяются из-за технической сложности. Двухцветные системы находят применение в прикладном телевидении.

Кроме рассмотренного слагательного (аддитивного), можно использовать вычитательный (субтрактивный) способ смешения цветов. В последнем случае результирующий цвет образуется путем перераспределения спектрального состава сложного излучения с помощью светофильтров, красок и др. Вычитательный способ смешения используется в цветном кино, цветной полиграфии и живописи. Основными цветами вычитательного смешения являются цвета, полученные от попарного смешения основных цветов, выбранных в слагательной системе смешения: пурпурный (белый цвет минус зеленый), желтый (белый цвет минус фиолетовый) и голубой (белый цвет минус красный).

Глава 2

ПРИНЦИПЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Общие сведения

Если на сетчатках глаз мысленно разместить прямоугольные системы координат x, y с началами в центрах сетчаток, то действительные оптические изображения на сетчатках можно описать некоторыми функциями, характеризующими распределения яркостей и цветностей различных точек изображения. Каждое из цветных изображений характеризуется тремя величинами: яркостью $B(x, y)$, цветовым тоном $\lambda(x, y)$ и чистотой цвета $P(x, y)$. Для правого и левого глаз имеются свои функции распределения яркости, тона и чистоты. Но для движущихся изображений функции распределения зависят еще и от времени t, тогда для левого глаза имеем: $B_л(x, y, t)$, $\lambda_л(x, y, t)$, $P_л(x, y, t)$, а для правого: $B_п(x, y, t)$, $\lambda_п(x, y, t)$, $P_п(x, y, t)$.

Передача движущегося цветного и объемного изображения оказалась возможной после решения значительно более простой задачи: передачи плоского, неподвижного, одноцветного изображения, т. е. преобразования изображения в последовательность электрических сигналов. Такая функция одного независимого переменного (времени) может быть передана по электрическому каналу связи. Осуществить точную передачу функций $B(x, y)$, характеризующих яркость как функцию координат любой точки изображения, технически невозможно. Однако точной передачи и не требуется. Особенности строения сетчатки приводят к тому, что непрерывные изменения отражательной способности объектов воспроизводятся в виде точечной структуры, т. е. видимые нами изображения представляют собой своеобразную мозаику, состоящую из элементарных световых пятен. Именно это свойство и используется в телевидении. Каждый предмет рассматривается как комбинация очень большого числа (но не бесконечного) точек с различной отражатель-

ной способностью. Различное количество света, отраженное отдельными точками (элементами) рассматриваемого объекта, преобразуется в соответствующие по величине электрические сигналы, которые и передаются затем к приемному устройству по электрической линии связи. Для получения электрических сигналов, пропорциональных величинам световых потоков, служат фотоэлектрические преобразователи. Переданные электрические сигналы на приемной стороне преобразуются об-

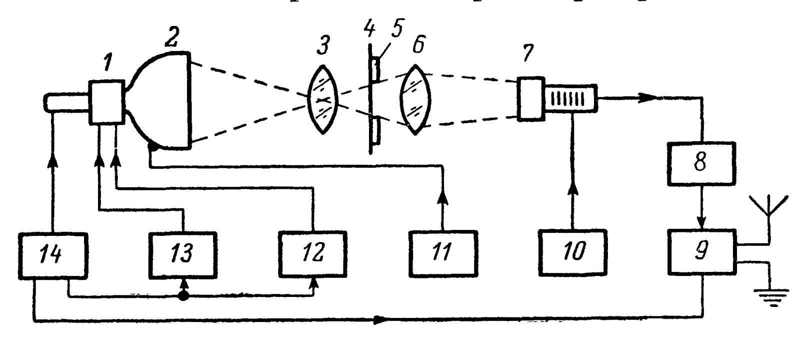


Рис. 8. Блок-схема установки, использующей развертку с бегущим световым пятном (для передачи сигналов изображения с диапозитивов).

1 — отклоняющие катушки; *2* — проекционный кинескоп; *3* — объектив; *4* — диапозитив; *5* — рамка; *6* — конденсор; *7* — фотоэлектронный умножитель; *8* — усилитель сигналов изображения; *9* — смеситель, радиопередатчик; *10* — источник питания; *11* — источник высокого напряжения; *12* — генератор горизонтально отклоняющих колебаний; *13* — генератор вертикально отклоняющих колебаний; *14* — генератор гасящих и синхроимпульсов.

ратно в световые в виде светящихся с различной яркостью точек, относительное расположение которых сохраняется таким же, как и в оригинале. Таким путем создается растровое изображение. Качество растрового изображения с уменьшением размеров элементов (при соответствующем увеличении их количества) будет улучшаться, однако до известного предела, определяемого конечной разрешающей способностью зрительного аппарата.

Примером передающей телевизионной системы, использующей электронную развертку, служит устройство с бегущим световым пятном (рис. 8). В качестве источника света в этом устройстве используется электронно-лучевая трубка, обладающая большой яркостью свечения (проекционный кинескоп). Экран трубки прочерчивается в определенной последовательности электронным пучком, в результате чего создается растр, составленный из по-

очередно вспыхивающих точек. Растр этот проецируется на объект. В каждый момент времени освещается только один элемент объекта. Отраженный (или пропущенный) освещенным элементом предмета (или диапозитива) свет попадает затем на фотокатод фотоэлектронного умножителя и создает сигнал изображения. При скольжении развертывающего светового пятна по поверхности предмета в соответствии с изменением его отражательной способности (или плотности почернения диапозитива) изменяется величина светового потока, попадающего на фотокатод, а также величина полученного сигнала изображения. Сигналы изображения усиливаются усилителем и далее поступают в канал связи, по которому передаются к приемнику.

Изображение в приемнике воспроизводится также электронным путем при помощи электронно-лучевой трубки. Электронный пучок в трубке приемного устройства движется строго согласованно с пучком проекционного кинескопа на передающей стороне. Когда первая строка прочерчивается в трубке передающей части установки, электронный пучок приемной трубки также вычерчивает первую строку. Отличие их заключается в том, что электронный пучок приемной трубки изменяет свою интенсивность в зависимости от величины приходящего сигнала, и на экране воспроизводится изображение из сочетания различно светящихся точек, тогда как на экране трубки передающей части установки создается растр из одинаково поочередно светящихся точек. Электронные пучки в электронно-лучевых трубках движутся под воздействием электрических колебаний, создаваемых в генераторах развертки.

Построчная развертка

Развертка заключается в последовательном обходе электронным пучком всех элементов экрана. Наиболее распространенный порядок развертки — вдоль параллельных горизонтальных строк. При этом электронный пучок равномерно перемещается слева направо в горизонтальном направлении и одновременно смещается на ширину строки (рис. 9, *а*). Прочертив строку, пучок электронов быстро возвращается влево, после чего вновь начинает перемещаться вправо, но уже вдоль следующей строки. Процесс этот продолжается до тех пор, пока электронный

пучок не прочертит последнюю строку, образовав, таким образом, строчный растр. Затем пучок возвращается в исходное состояние — в верхний левый угол растра. При

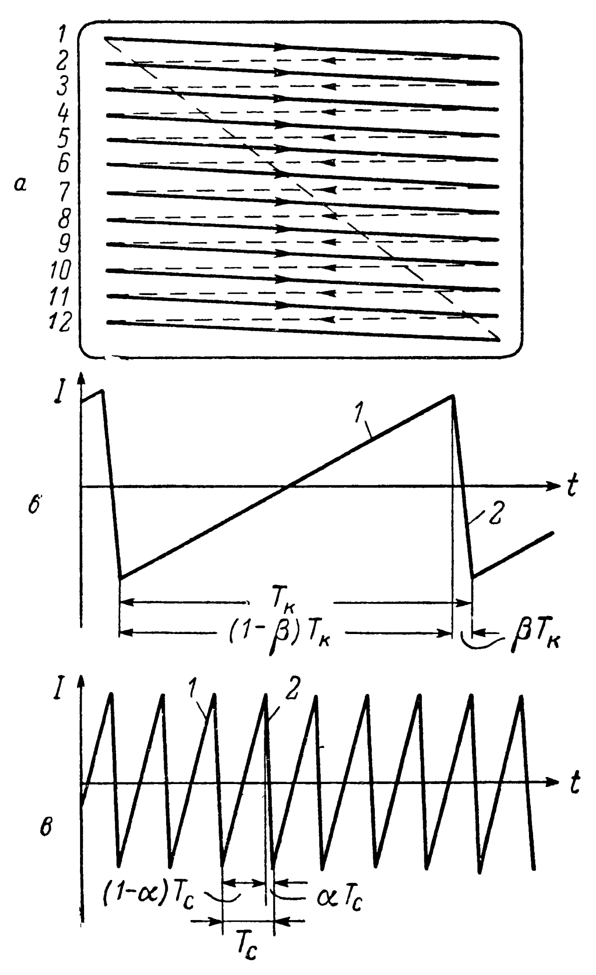


Рис. 9. Образование прямоугольного растра на экране электронно-лучевой трубки (*а*) под воздействием магнитных полей, создаваемых пилообразными токами катушек вертикального (*б*) и горизонтального (*в*) отклонения.

1 — прямой ход; *2* — обратный.

построчной развертке развертывающий элемент движется в пределах кадра по зигзагообразной траектории, состоящей из относительно быстрых возвратно-поступательных движений в горизонтальном направлении и относительно медленных — в вертикальном. Движение в обоих вза-

имно перпендикулярных направлениях происходит одновременно. Чтобы пучок равномерно перемещался в одном направлении и быстро возвращался в исходное положение, необходимо использовать пилообразные отклоняющие токи, форма которых показана на рис. 9, *б*, *в*. Частота колебаний, осуществляющих кадровую развертку (смещение пучка по вертикали), должна соответствовать заданной частоте смены кадров, а частота колебаний, осуществляющих строчную развертку (смещение пучка по горизонтали), должна быть в z раз больше частоты кадров (z — число строк растра).

Движение пучка слева направо под воздействием горизонтально отклоняющих катушек (или пластин) называется прямым ходом строчной развертки, а быстрое его возвращение в исходное положение — обратным ее ходом. Время обратного хода составляет примерно 10% периода строки. Аналогично медленное движение электронного пучка сверху вниз под воздействием поля вертикально отклоняющих катушек (или пластин) называется прямым ходом кадровой развертки, а быстрое его возвращение вверх — обратным ходом кадровой развертки. Время возврата занимает около 5% периода кадра.

Скорость движения по строке превышает скорость движения по кадру в сотни раз. Поэтому за время обратного хода по кадру развертывающий элемент успевает совершить свыше десятка бесполезных зигзагообразных движений по строкам, которые могут наблюдаться на экране приемника. Во избежание наблюдения обратного хода на экране воспроизводящего устройства электронные пучки трубок передатчика и приемника периодически выключаются на время движения развертывающего элемента по обратным ходам строк и на все время обратного хода по кадру. Следовательно, в это время как анализ, так и синтез изображения фактически не производятся. С другой стороны, на границах кадра скорость движения развертывающего элемента должна скачком меняться по величине и направлению. Практически это осуществить не удается. Для того чтобы не видеть изменения скорости движения развертывающего элемента при перемене направления движения, кадр на передающей стороне делают несколько больших размеров, чем видимый кадр на воспроизводящем устройстве. Таким образом, края кадра не будут видны. Для обеспечения такой

картины развертки электронный пучок выключается гасящими импульсами немного раньше конца каждой строки на время около 16% периода строки и немного раньше каждого обратного хода по кадру на 7.5% периода кадра. Общая потеря времени, когда не воспроизводятся изображения, составляет около 21%. Промежутки времени, когда электронные пучки заперты гасящими импульсами, используются для передачи различных служебных сигналов: синхронизации, обеспечивающей синхронное движение развертывающих пучков на передающем и приемном концах системы; информации о средней освещенности передаваемой сцены; цветовой синхронизации, обеспечивающей правильность цветовоспроизведения, и др.

Особенности телевизионного сигнала

Допустим, что перед передающей камерой находится чистый лист белой бумаги. Тогда при передаче отдельных кадров изображения (рис. 10, *а*) телевизионные сигналы идентичных кадров будут одинаковыми, а максимальная величина сигнала изображения будет пропорциональна освещенности фотокатода фотоэлектрического преобразователя. Если вместо белого листа бумаги мы спроецируем на фотокатод черный лист бумаги, то освещенность фотокатода сильно уменьшится. При этом изменится лишь уровень сигнала изображения (рис. 10, *б*). Если на фотокатод проецируется белый лист бумаги, на котором в середине имеется черная точка (рис. 10, *в*), то один раз за каждые 1/К с (*К* — число кадров в 1 с) возникает изменение напряжения.

Теперь допустим, что на фотокатод проецируется изображение, представляющее собой чередующиеся черные и белые квадратные элементы со стороной, равной высоте одной строки (рис. 10, *г*). Допустим, что число строк разложения равно 625 (как в советском телевизионном вещании), а отношение ширины кадра к его высоте (коэффициент формы кадра) равно 4/3. В этом случае на одной строке укладывается 625·4/3=833 элемента, а в полном изображении — более 500 000 (625·4/3·625).*

* Учитывая потери за время действия гасящих импульсов, действительно воспроизводимое (активное) число элементов будет равно примерно 400 000.

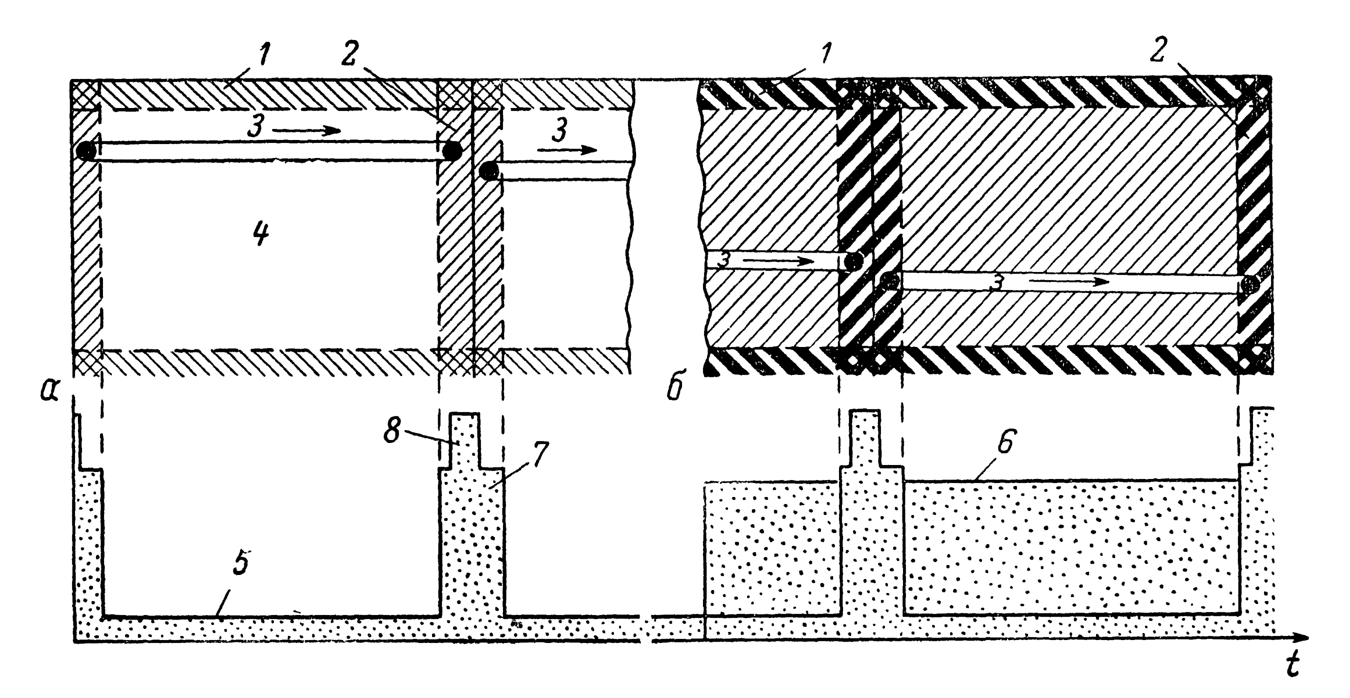


Рис. 10. Формы телевизионного сигнала в зависимости от содержания изображения.

1 — часть растра, не передаваемая и не воспроизводимая из-за гашения пучка за время обратного хода по вертикали; *2* — часть растра, не передаваемая из-за гашения пучка за время обратного хода по горизонтали; *3* — направление движения развертывающего пучка; *4* — фактически передаваемая и воспроизводимая часть растра; *5* — уровень белого; *6* — уровень черного; *7* — строчный гасящий импульс; *8* — строчный синхронизирующий импульс; *9* — телевизионный сигнал от темного элемента объекта; *10* — телевизионный сигнал от темных элементов изображения.

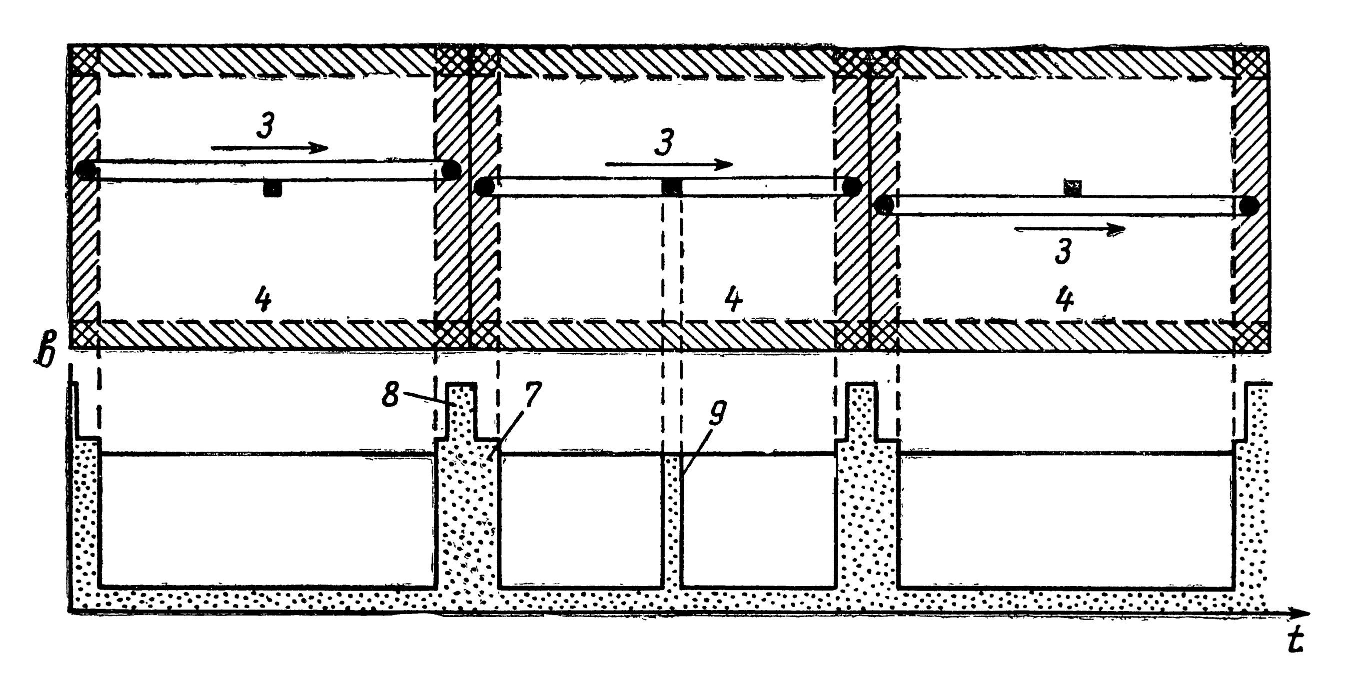


Рис. 10 *(продолжение)*.

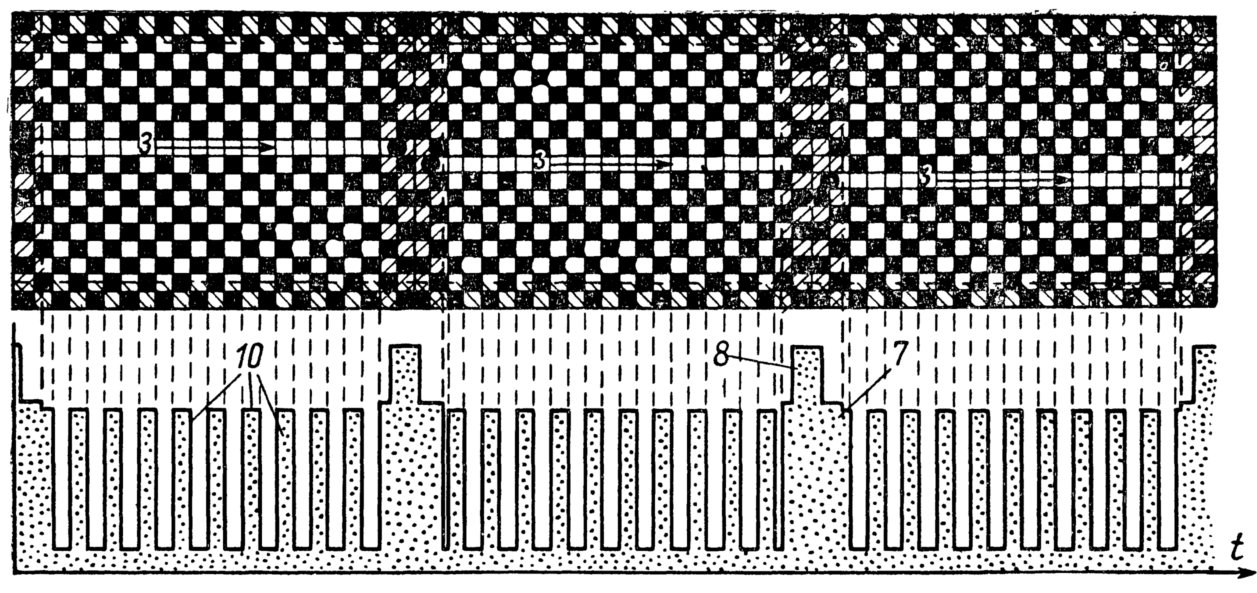


Рис. 10 *(продолжение)*.

Если это изображение передается 25 раз в 1 с, то общее число электрических сигналов, посылаемых в 1 с по телевизионному каналу связи, будет равно числу элементов в одном кадре, умноженному на число кадров, т. е. 12.5 млн, а соответствующая частота электрических сигналов оказывается равной 6.25 МГц. При этом считается, что одно колебание частоты 6.25 МГц соответствует двум элементам изображения: положительный полупериод соответствует одному белому элементу, а отрицательный полупериод — второму, черному элементу изображения.

В различных системах телевидения число передаваемых элементов и скорость их передачи может быть различной. В общем случае высшая частота телевизионного сигнала определяется следующим образом. Число реально передаваемых элементов изображения за один кадр $n=Z^2\alpha\beta$, где Z — число строк; α и β — коэффициенты, учитывающие форму кадра и время обратного хода развертки. Общее число электрических сигналов S, посылаемых в 1 с по электрическому каналу связи, будет равно числу элементов, умноженному на число кадров, т. е. $S=\alpha\beta KZ^2$, а высшая частота, на пропускание которой этот канал должен быть рассчитан, оказывается равной:

$$F=\frac{\alpha\beta KZ^2}{2}.$$

Таким образом, для передачи телевизионного сигнала без искажений канал связи должен быть рассчитан на пропускание сигналов с различными частотами — от минимальной, равной частоте смены кадров, до максимальной.

Рассмотрим распределение мощности телевизионного сигнала по его спектру. Если сигналы изображения отсутствуют, то телевизионный сигнал представляет собой серию периодически повторяющихся импульсов синхронизации и гасящих импульсов. При этом строчные импульсы повторяются каждые $1/ZK$ с, а кадровые — через каждые $1/K$ с. Периодически повторяющиеся импульсы можно представить синусоидальными составляющими, причем частоты гармоник этого ряда кратны частоте повторения. Исходя из этого, спектр телевизионного сигнала можно представить в виде ряда гармоник частоты $f_с=ZK$ и частоты $f_к=K$. Так как кадровые импульсы перемежаются со строчными, то получается модуляция строчных

импульсов кадровыми и, следовательно, около каждой гармоники строчной частоты образуется спектр так называемых боковых частот, отстоящих друг от друга на $f_к$. Таким образом, при отсутствии изображения энергия телевизионного сигнала сосредоточивается около гармоник строчной частоты. При передаче изображения характер распределения энергии в спектре телевизионного

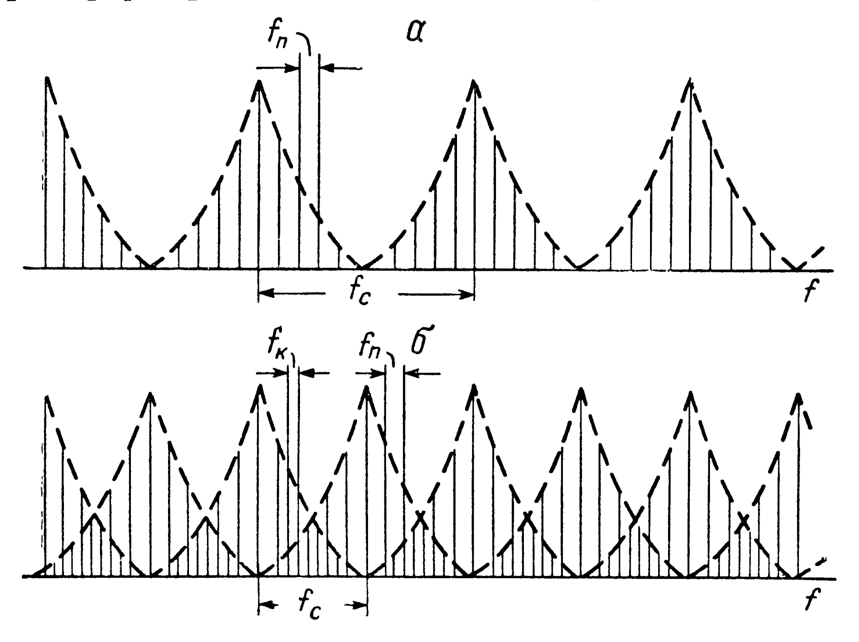


Рис. 11. Спектры телевизионного сигнала при построчной (*а*) и черессточной (*б*) развертках.

сигнала остается тем же. Отличие состоит лишь в том, что спектр боковых частот около каждой гармоники строчной частоты расширяется.

В промежутках между гармониками строчной частоты имеются незаполненные участки, ширина которых равна в среднем половине строчной частоты и изменяется в зависимости от характера изображения. Типичное распределение энергии в спектре телевизионного сигнала показано на рис. 11, *а*. Такой характер спектра позволяет совместить два и более спектра аналогичных сигналов. Если второй сигнал имеет такой же дискретный спектр, но его составляющие по частоте размещены в промежутках первого, то оба сигнала можно передать в одном ка-

нале связи и затем вновь разделить (рис. 11, *б*). Это свойство телевизионного сигнала используется в современном цветном телевидении для уплотнения канала связи.

Чересстрочная развертка

В рассматривавшейся выше построчной развертке движение развертывающего элемента осуществлялось по строкам, вплотную примыкавшим друг к другу. Для слитного (без мельканий) восприятия свечения экрана приемной трубки необходимо повторять возбуждение всего поля 48—50 раз в 1 с, что следует из особенностей зрительного восприятия. Однако такая скорость передачи изображения явно избыточна. Для воспроизведения изображений движущихся объектов вполне достаточно передавать 20—25 отдельных фаз движения, т. е. статических изображений в 1 с. Так как полоса частот, занимаемая спектром телевизионного сигнала, прямо пропорциональна числу передаваемых кадров в секунду, то избыточное их число ведет и к избыточности полосы частот, занимаемой телевизионным сигналом.

Устранение этой избыточности в телевизионной передаче изображений достигается применением чересстрочной развертки, сущность которой состоит в том, что полный кадр изображения передается и воспроизводится за два поля. Это делается на основании экспериментально установленного факта. Заключается он в следующем. Если две близко расположенные светящиеся линии или точки вспыхивают (мелькают) поочередно, то они будут казаться непрерывно и стабильно светящимися, если сумма частот мельканий выше критической. Следовательно, частота мельканий отдельной линии или точки может быть ниже критической. Используя это явление, при чересстрочной развертке вдвое снижают частоту кадров по сравнению с построчной разверткой.

Сейчас в телевизионном вещании всех стран мира находит применение только чересстрочная линейная развертка. В этом случае после развертки первой строки передаваемого изображения (рис. 12) развертывается третья строка, а вторая строка пропускается. Затем развертывается пятая и другие нечетные строки. По окончании передачи нечетных строк развертывающий пучок воз-

вращается в крайнее левое положение на второй строке и, двигаясь прежним способом, передает пропущенные ранее четные строки растра. В телевизионном вещании СССР передача нечетных строк осуществляется за 1/50 с; за то же время производится затем передача четных строк, т. е. все содержание кадра передается за 1/25 с. Такой способ развертки позволяет вдвое уменьшить полосу

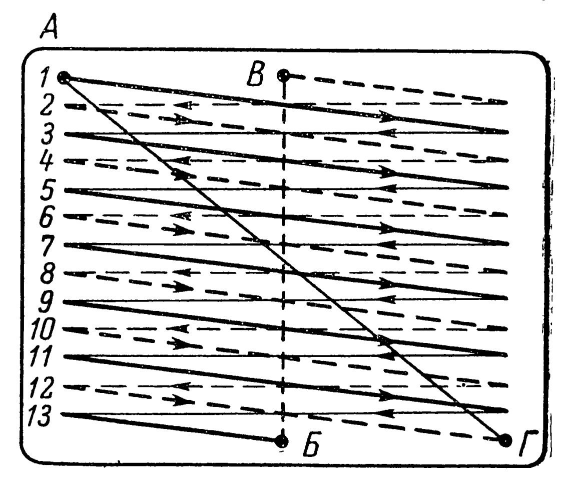


Рис. 12. Чересстрочный растр.

А — начало развертки первого поля; *Б* — конец развертки первого поля; *В* — начало развертки второго поля; *Г* — конец развертки второго поля.

частот сигнала по сравнению с построчной разверткой при сохранении той же четкости изображения, а это упрощает передающие и приемные устройства и облегчает передачу сигналов на расстояние.

Получение чересстрочной развертки связано с более жестким согласованием движения электронного пучка по экрану телевизионного приемного устройства с движением пучка в передающей трубке. Последнее приводит к усложненной форме синхронизирующих сигналов. Соответственно усложняется форма полного телевизионного сигнала (рис. 13) для четного и нечетного полей. В обоих случаях основную часть времени передаются сигналы изображения, а в течение малого промежутка времени, который совпадает с обратным ходом пучка, передается импульс синхронизации по строке. В течение обратного хода уровень телевизионного сигнала должен соответствовать уровню передачи наиболее темных мест в изображе-

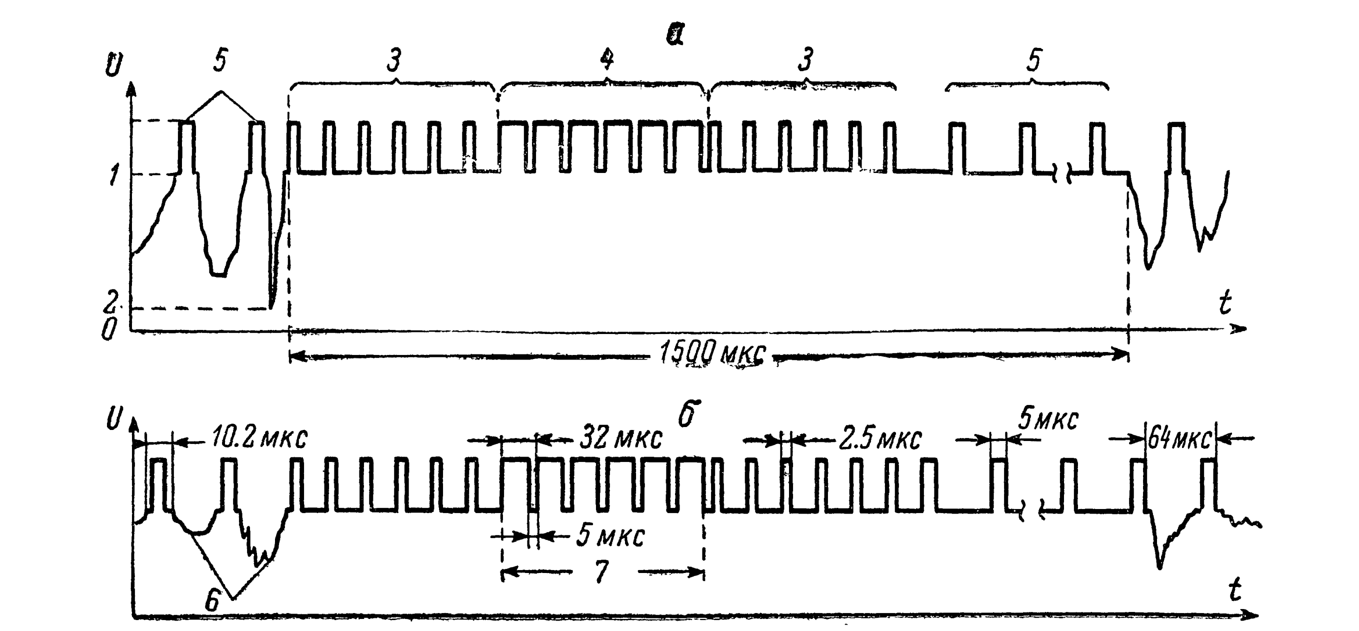
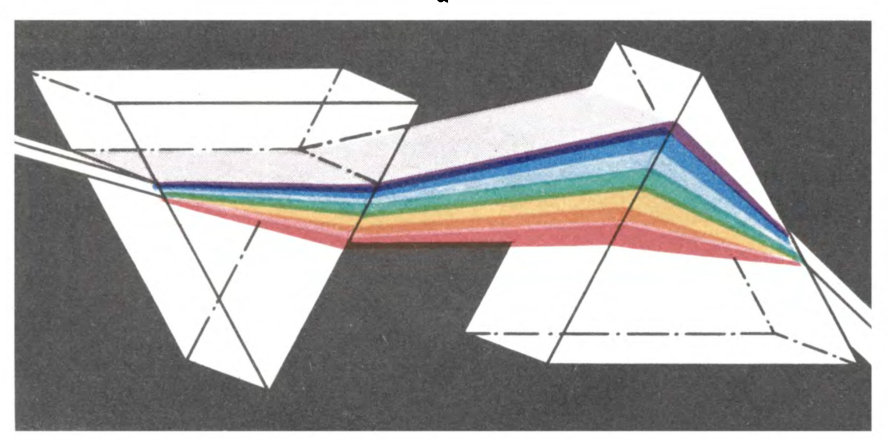


Рис. 13. Форма полного телевизионного сигнала.

а — поле нечетных строк; *б* — поле четных строк; *1* — уровень черного; *2* — уровень белого; *3* — уравнивающие импульсы; *4* — полевые синхронизирующие импульсы; *5* — строчные синхронизирующие импульсы; *6* — сигнал изображения; *7* — гасящий импульс полей.



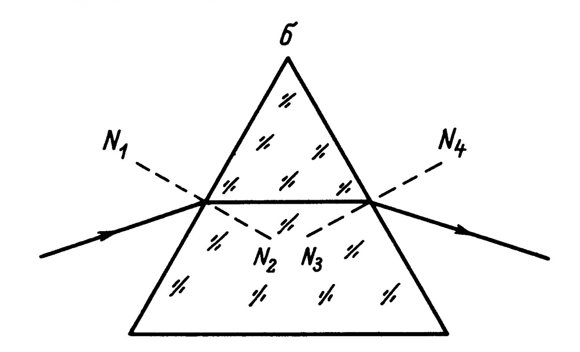


Рис. 2. Разложение луча белого света призмой (*а*) и преломление луча монохроматического света стеклянной призмой (*б*).

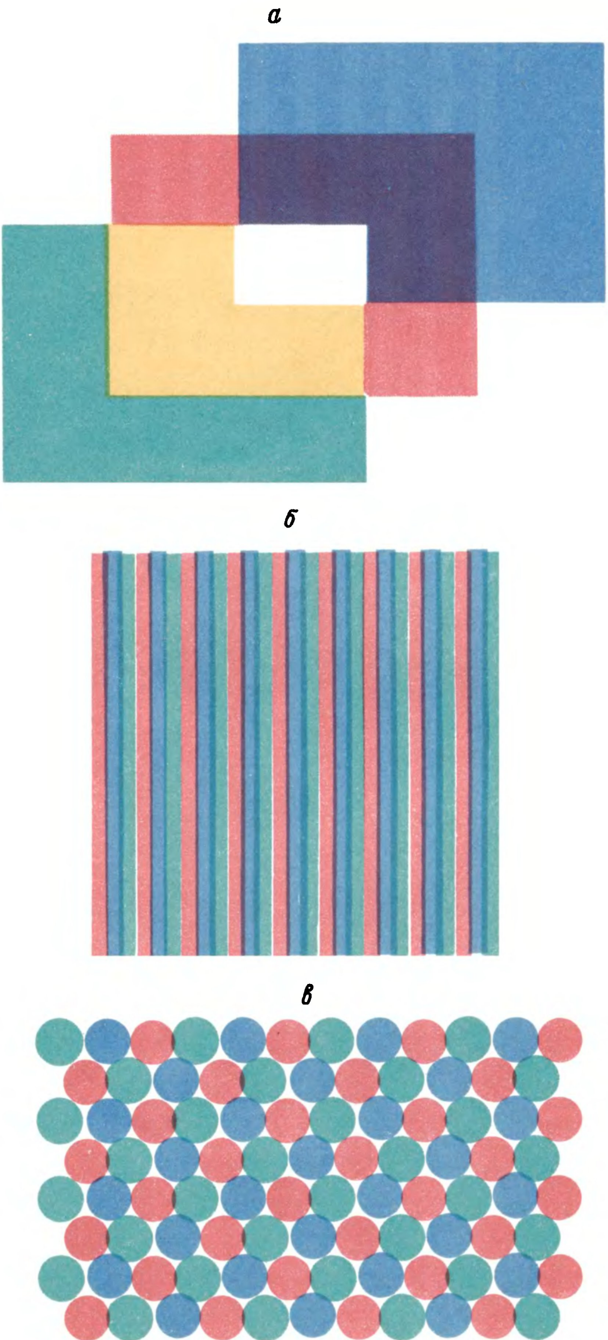


Рис. 4. Примеры смешения цветов.

а — слагательное смешение цветов при проекции световых лучей на лист белой бумаги через зеленый, синий и красный светофильтры; *б* и *в* — пространственное смешение цветов, хорошо заметное при достаточном удалении рисунка от глаз наблюдателя.

нии (черному). Для этой цели к сигналу изображения добавляются гасящие импульсы. Импульсы синхронизации, управляющие генераторами вертикальной и горизонтальной разверток, передаются в виде насадок на гасящие импульсы. Для того чтобы их можно было легко отделить от сигналов изображения и друг от друга, они имеют одинаковый размах, но различную длительность.

Усиление телевизионных сигналов

Электрические телевизионные сигналы, получаемые на нагрузочных резисторах фотоэлектрических преобразователей в передающих телевизионных камерах, имеют слишком

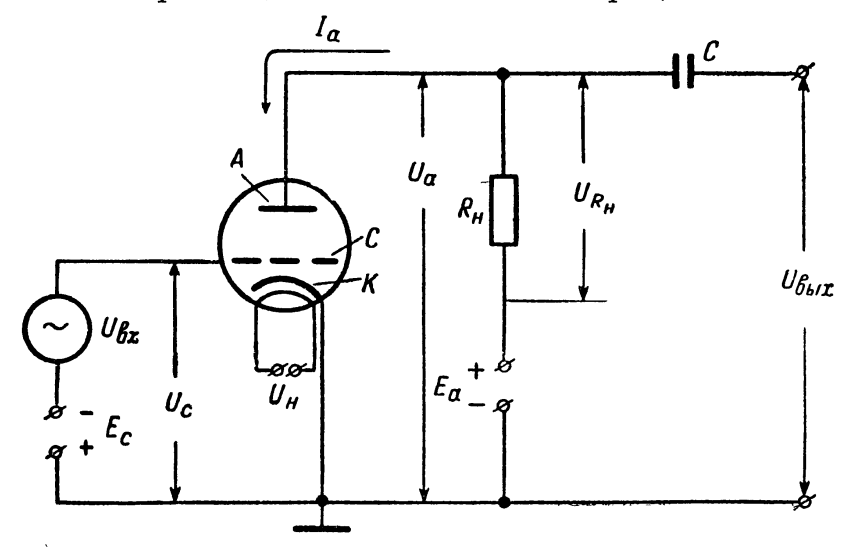


Рис. 14. Схема усилителя электрических сигналов с применением триода.

$U_{вх}$ — входное (усиливаемое) напряжение; $E_с$ — напряжение смещения; A — анод; C — сетка; K — катод; $U_н$ — напряжение на нити накала; $U_{R_н}$ — падение напряжения на резисторе; $E_а$ — напряжение анодного источника питания; $U_{вых.}$ — выходное (усиленное) напряжение.

ком малую величину, чтобы их можно было использовать для непосредственной передачи на приемник. Поэтому видеоусилители усиливают телевизионный сигнал в большое число раз. Кроме усиления сигналов изображения, видеоусилители выполняют ряд дополнительных функций: введение гасящих и синхронизирующих импульсов, смешивание сигналов от разных передающих камер, авто-

матическую регулировку выходного сигнала и т. д. Видеоусилители могут быть построены на электронных лампах либо на транзисторах.

Схема простейшего усилителя с трехэлектродной лампой (триодом) показана на рис. 14. Триод представляет собой стеклянный, металлический либо металло-керамический баллон, из которого выкачан воздух. Внутри баллона расположены термоэлектронный катод и анод. В пространстве между анодом и катодом укреплена металлическая спираль, называемая сеткой. Разогретый нитью накала до высокой температуры катод испускает электроны. Напряжение на сетке, наряду с напряжением на аноде, определяет количество электронов, переходящих из электронного облачка, окружающего катод, к аноду лампы. Так как сетка расположена к катоду ближе, чем анод, то изменение анодного тока больше зависит от изменения сеточного напряжения, чем анодного напряжения. Подавая большое отрицательное напряжение на сетку, можно полностью «запереть» лампу, уменьшив анодный ток до нуля, или полностью «открыть» ее, создав условия для пролета к аноду всех свободных электронов. Это сильное влияние сеточного напряжения на величину анодного тока электронной лампы используется для усиления колебаний. Происходит это следующим образом.

Подлежащее усилению напряжение вводится в цепь управляющей сетки. Для обеспечения необходимого электрического режима по управляющей сетке, кроме источника усиливаемых сигналов, между управляющей сеткой и катодом включается еще источник напряжения смещения, создающий отрицательный потенциал на сетке. В анодную цепь включается источник, создающий положительный потенциал на аноде относительно катода, и нагрузочный резистор $R_н$. При изменении потенциала сетки под воздействием телевизионного сигнала изменяется и количество электронов, проходящих мимо витков к аноду лампы. Переменный анодный ток создает на резисторе падение напряжения. При достаточной величине сопротивления резистора получающееся на нем выходное напряжение будет намного больше входного напряжения, поданного в цепь сетки, т. е. происходит усиление электрических колебаний.

Обычно необходимо получить значительно большее усиление сигнала, чем способна обеспечить одно-

ламповая схема. Поэтому создают многокаскадные схемы усилителей, где выходное напряжение, снимаемое с нагрузочного резистора первой одноламповой схемы, используется в качестве входного напряжения второй схемы усилителя и т. д. Общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов. В усилителях сигналов изображения чаще применяют более сложные электронные лампы — пентоды.

Видеоусилитель характерен тем, что он должен быть рассчитан на пропускание широкой полосы частот сигнала, что создает серьезные трудности при усилении и передаче сигналов на расстояние. Для улучшения технических характеристик при усилении колебаний в широкой полосе частот в видеоусилитель вводятся дополнительные корректирующие элементы.

В настоящее время в телевизионной аппаратуре различного назначения значительный удельный вес занимают схемы на полупроводниковых приборах. Эти приборы обладают большими преимуществами по сравнению с электронными лампами. Меньшие напряжения источников питания в полупроводниковых приборах, а также отсутствие цепей накала значительно снижают потребляемую аппаратурой мощность. Уменьшаются габариты и вес аппаратуры, ибо в полупроводниковых приборах они намного меньше, чем в электронных приборах с эквивалентными техническими характеристиками. Увеличивается, естественно, срок службы телевизионной аппаратуры, поскольку полупроводниковые приборы значительно долговечнее электронных ламп.

Простейшим полупроводниковым прибором является полупроводниковый диод. Принцип действия его основан на явлениях в электронно-дырочном переходе, который образуется на металлургической границе двух полупроводников с различным типом (электронным и дырочным) проводимости, образованной в одном монокристалле (рис. 15).

Электронную проводимость полупроводника создают введением в кристалл примесных атомов вещества с большей валентностью, нежели основное вещество кристалла (рис. 15, *а*). Часть полупроводникового кристалла с примесями вещества меньшей валентности имеет дырочную проводимость (рис. 15, *б*). Здесь примесный атом бора для образования заполненных валентных связей с со-

седними четырьмя атомами германия стремится притянуть к себе недостающий электрон от другого атома германия и оставляет там брешь (дырку), которую легко заполняет какой-нибудь электрон следующего атома.

Ток в полупроводниковом диоде проходит следующим образом. Допустим, что положительный полюс источника эдс соединен с частью кристалла, обладающей дырочной проводимостью, а отрицательный полюс — с концом кристалла, имеющего электронную проводимость (рис. 15, *д*). В электронной области свободные электроны полупроводника будут отталкиваться в сторону электронно-дырочного перехода электронами, поступающими из источника эдс. Они пересекут переход и начнут заполнять дырки, которые положительный потенциал источника эдс направил к этому переходу. Так образуется ток, составляемый электронами и дырками, перемещающимися в противоположных направлениях. Этот ток соответствует так называемому включению в прямом направлении. Если приложить напряжение в обратном направлении (рис. 15, *е*), то тока не будет совсем или он будет очень маленьким. Описанные свойства электронно-дырочного перехода позволяют использовать его в качестве выпрямителя переменного тока.

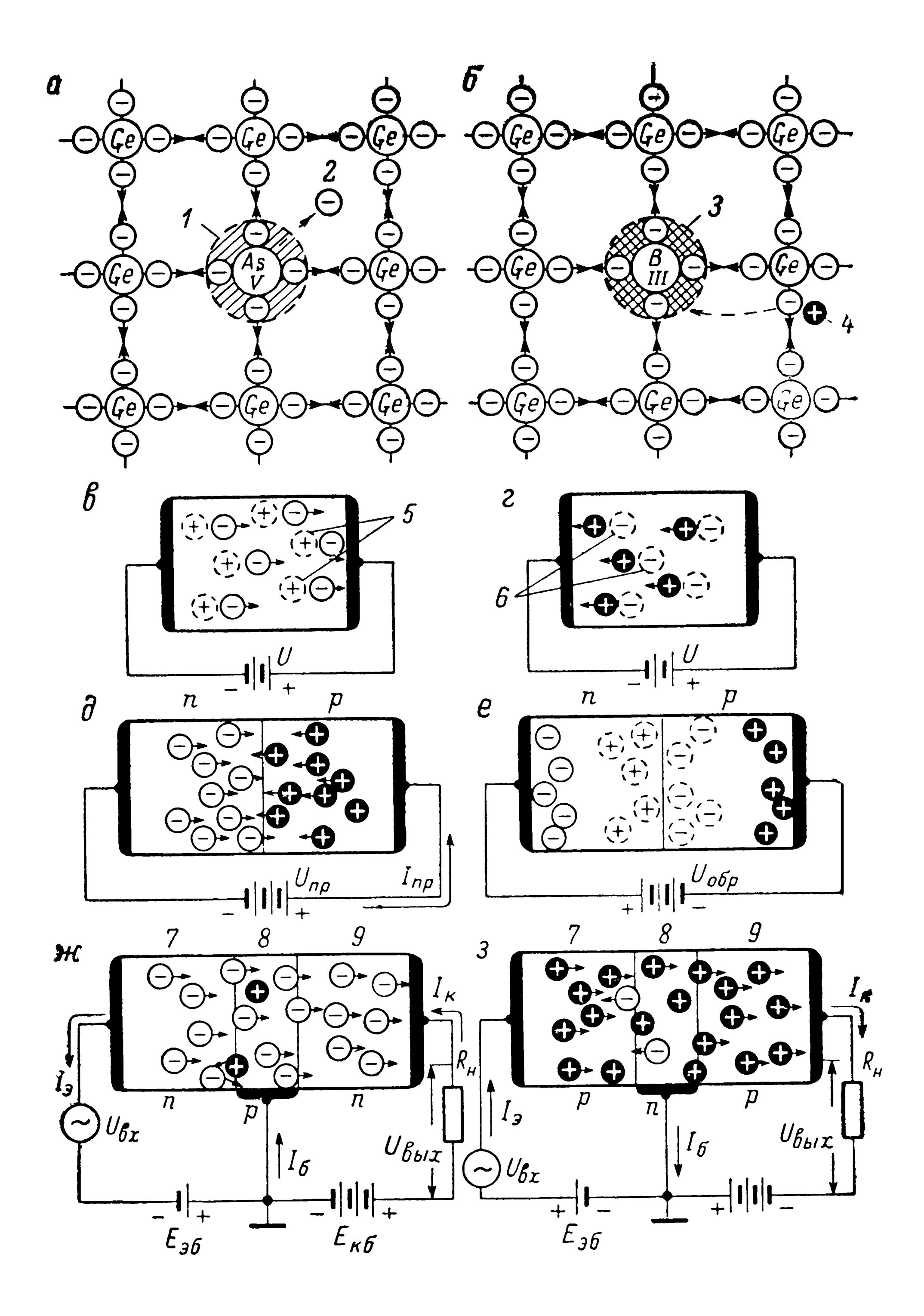
Создав два электронно-дырочных перехода в одном кристалле, направленных противоположно, получим транзистор. Одна из внешних областей его называется эмиттером, другая — коллектором, а средняя — базой. Между эмиттером и базой прикладывается напряжение в прямом направлении (рис. 15, *ж*), благодаря чему через переход между ними течет ток. Из эмиттера ток вносит в базу свободные электроны. Часть их заполняет дырки базы (структуру, которая в данном случае имеет дырочную проводимость) и обусловливает в ней небольшой ток. Боль-

---

Рис. 15. Полупроводники и полупроводниковые приборы.

а — донорная примесь в решетке полупроводника, обусловливающая примесную электронную проводимость; *б* — акцепторная примесь, обусловливающая дырочную проводимость; *в* — электронный полупроводник; *г* — дырочный полупроводник; *д* — прямое включение полупроводникового диода; *е* — обратное включение диода; *ж* — схема включения транзистора типа *n—p—n*; *з* — схема включения транзистора типа *p—n—p*.

1 — положительный ион; *2* — свободный электрон; *3* — отрицательный ион, *4* — свободная дырка; *5* — положительные ионы; *6* — отрицательные ионы; *7* — эмиттер; *8* — база; *9* — коллектор.



а
б
Ge
As
V
B
III
1
2
3
4
в
г
5
6
U
д
е
n
p
$U_{пр}$
$I_{пр}$
$U_{обр}$
ж
з
7
8
9
$I_к$
$I_э$
$R_н$
$U_{вх}$
$I_б$
$U_{вых}$
$E_{эб}$
$E_{кб}$

шая же часть проникших в базу электронов продолжает свое движение и проникает в коллектор, где они ускоряются электрическим полем, созданным источником эдс, включенным между коллектором и базой. Усиление в транзисторе происходит в результате того, что ток коллектора зависит от тока эмиттера и меняется пропорционально изменениям последнего. Если последовательно с эдс $E_{эб}$ приложено напряжение сигнала, то с изменением тока эмиттера изменяется и ток коллектора. И изменения эти будут тем больше, чем меньше входное сопротивление транзистора, которое действительно мало вследствие того, что здесь переход включен в прямом (пропускном) направлении. Поскольку выходное сопротивление транзистора велико, ток коллектора можно пропускать через большое сопротивление нагрузки. На нагрузочном резисторе и выделяется усиленное напряжение сигнала.

На рис. 15, *ж* показана схема включения транзистора *n—p—n* типа, где область с дырочной проводимостью является общей. Если объединить два электронно-дырочных перехода таким образом, что общей окажется область с электронной проводимостью, то мы получим транзистор *p—n—p* типа. В этом случае полярность включения источников эдс по сравнению с показанной на рис. 15, *ж* должна быть изменена на обратную (рис. 15, *з*).

Транзистор, как и электронную лампу, можно использовать не только для усиления электрических сигналов, но и для генерирования электрических колебаний различной частоты, а также для многих других целей.

Передача телевизионных сигналов по радио

Передавать энергию электромагнитного поля без проводов можно при условии, если будут использоваться токи высокой частоты. Для этого телевизионный сигнал подводится к радиопередатчику (рис. 16, *а*), в котором происходят два основных процесса — создание электрических колебаний высокой частоты и изменение параметров этих колебаний под воздействием телевизионных сигналов. Обратный процесс выделения телевизионного изображения из высокочастотного сигнала осуществляется в телевизионном приемнике (рис. 16, *б*).

В телевизионном передатчике для создания колебаний высокой частоты можно применять генератор на электрон-

ных приборах или на транзисторах. В нем происходит преобразование отдаваемой источником постоянного тока энергии в энергию переменного тока, поглощаемую колебательным контуром. При помощи цепи обратной связи часть энергии колебательного контура подается на управляющий электрод лампы или транзистора. В приведенной на рис. 17, *а* схеме лампового генератора элементом обрат-

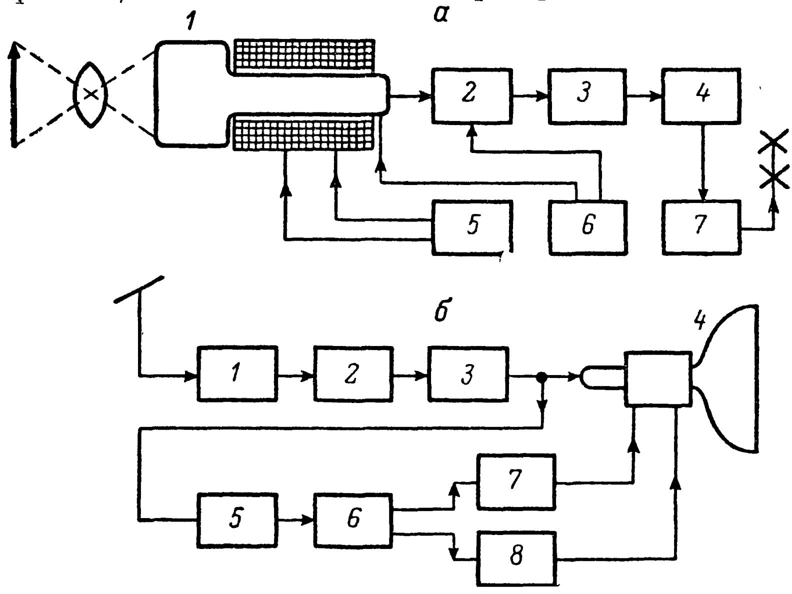


Рис. 16. Блок-схема системы радиотелевизионной связи.

а — передатчик: *1* — передающая трубка, *2* — усилитель, *3* — модулятор, *4* — генератор колебаний высокой частоты, *5* — генератор развертывающих колебаний, *6* — синхрогенератор, *7* — усилитель колебаний высокой частоты; *б* — приемник: *1* — усилитель колебаний высокой частоты, *2* — детектор, *3* — видеоусилитель, *4* — приемная трубка, *5* — схема выделения синхроимпульсов, *7* — генератор строчной развертки, *8* — генератор кадровой развертки.

ной связи служит взаимная индукция *M* между катушкой, включенной в цепь сетки, и катушкой анодного контура. В колебательном контуре, образованном параллельно соединенными конденсатором *C* и катушкой индуктивности *L*, периодически перемещаются электрические заряды, т. е. протекает ток в противоположных направлениях. Это и есть электрические колебания контура. Колебания в контуре управляют анодным током в лампе, который в свою очередь поддерживает колебания в контуре. Катушка обратной связи обеспечивает автоматическое «отпирание» и «запирание» лампы и подведение энергии источ-

ника питания в колебательный контур в такт с существующими в нем колебаниями. Это позволяет компенсировать потери энергии в контуре и получать незатухающие синусоидальные колебания.

Аналогичная схема генератора незатухающих синусоидальных колебаний с применением *p—n—p* транзистора приведена на рис. 17, *б*. Колебательный контур,

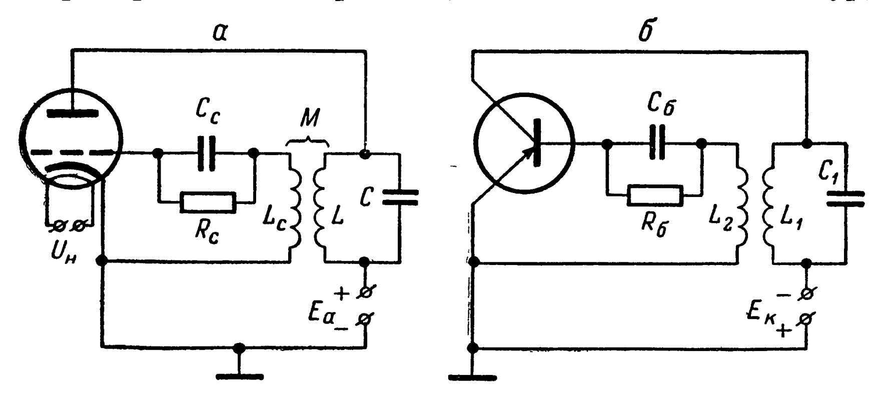


Рис. 17. Схемы генераторов колебаний высокой частоты с индуктивной обратной связью и автоматическим напряжением смещения на триоде (*а*) и на транзисторе (*б*).

представляющий собой параллельное соединение катушки L_1 и конденсатора C_1, включен в цепь коллектора. Запирающее смещение на базе создается за счет падения напряжения на резисторе $R_б$ от протекания постоянной составляющей тока базы. Напряжение обратной связи передается на базу через конденсатор $C_б$, который служит также для сглаживания пульсаций напряжения смещения. Величины емкости и индуктивности колебательного контура определяют частоту создаваемых колебаний.

Для передачи по радио сигналов изображения необходимо воздействовать этими сигналами на какой-либо параметр высокочастотного колебания, т. е. осуществить модуляцию колебаний высокой частоты сигналами изображения. Параметрами гармонического колебания являются амплитуда, частота и фаза. При амплитудной модуляции изменяется во времени амплитуда тока высокой частоты под воздействием модулирующего телевизионного сигнала, а частота колебаний сохраняется постоянной. Процесс модуляции осуществляется модулятором — составной частью телевизионного радиопередатчика.

Графики, поясняющие процесс амплитудной модуляции, приведены на рис. 18. Изменение амплитуды у модулированных колебаний (*в*) точно повторяет все характерные особенности телевизионного сигнала (*а*). Коэффициент модуляции *М* показывает наибольшее изменение амплитуды модулированного колебания по отношению к амплитуде, бывшей до модуляции, т. е. к амплитуде несущих колебаний (*б*). Обычно *М* выражают в процентах.

Модуляция высокочастотного колебания может осуществляться двумя способами. При позитивной модуляции (рис. 18, *I*) амплитуда высокочастотного колебания увеличивается вместе с ростом освещенности передаваемого изображения. При негативной модуляции (рис. 18, *II*), наоборот, наиболее светлым участкам передаваемого изображения соответствует наибольшая амплитуда высокочастотных колебаний, а при передаче темных участков излучается максимальная мощность. Негативная модуляция имеет некоторые преимущества по сравнению с позитивной, являясь, в частности, более экономичным видом модуляции, и поэтому она применяется в телевизионном вещании СССР и ряда других стран. При этом минимальное значение амплитуды несущей частоты, соответствующее изображению белого, составляет $12.5 \pm 2.5\%$ от максимальной амплитуды напряжения высокой частоты (вершины синхронизирующих импульсов).

Допустим, что сигнал изображения представляет собой некоторое синусоидальное колебание. Тогда модулированные синусоидальным сигналом изображения колебания высокой частоты представят собой сумму трех незатухающих колебаний: несущего, имеющего частоту, равную частоте модулируемого колебания f, а также верхнего и нижнего боковых колебаний, частоты которых больше и меньше f на величину частоты модулирующего сигнала изображения F, т. е. равны $f+F$ и $f-F$. Амплитуды боковых колебаний одинаковы, но меньше, чем у несущего колебания. Поскольку реальный полный телевизионный сигнал можно представить в виде суммы гармонических составляющих различных частот, то при передаче телевизионных сигналов модулированное колебание представляет собой сумму колебаний несущей частоты и двух боковых полос колебаний. Ширина полосы частот модулированных колебаний оказывается равной удвоенной наивысшей частоте модуляции. В целях удешевления

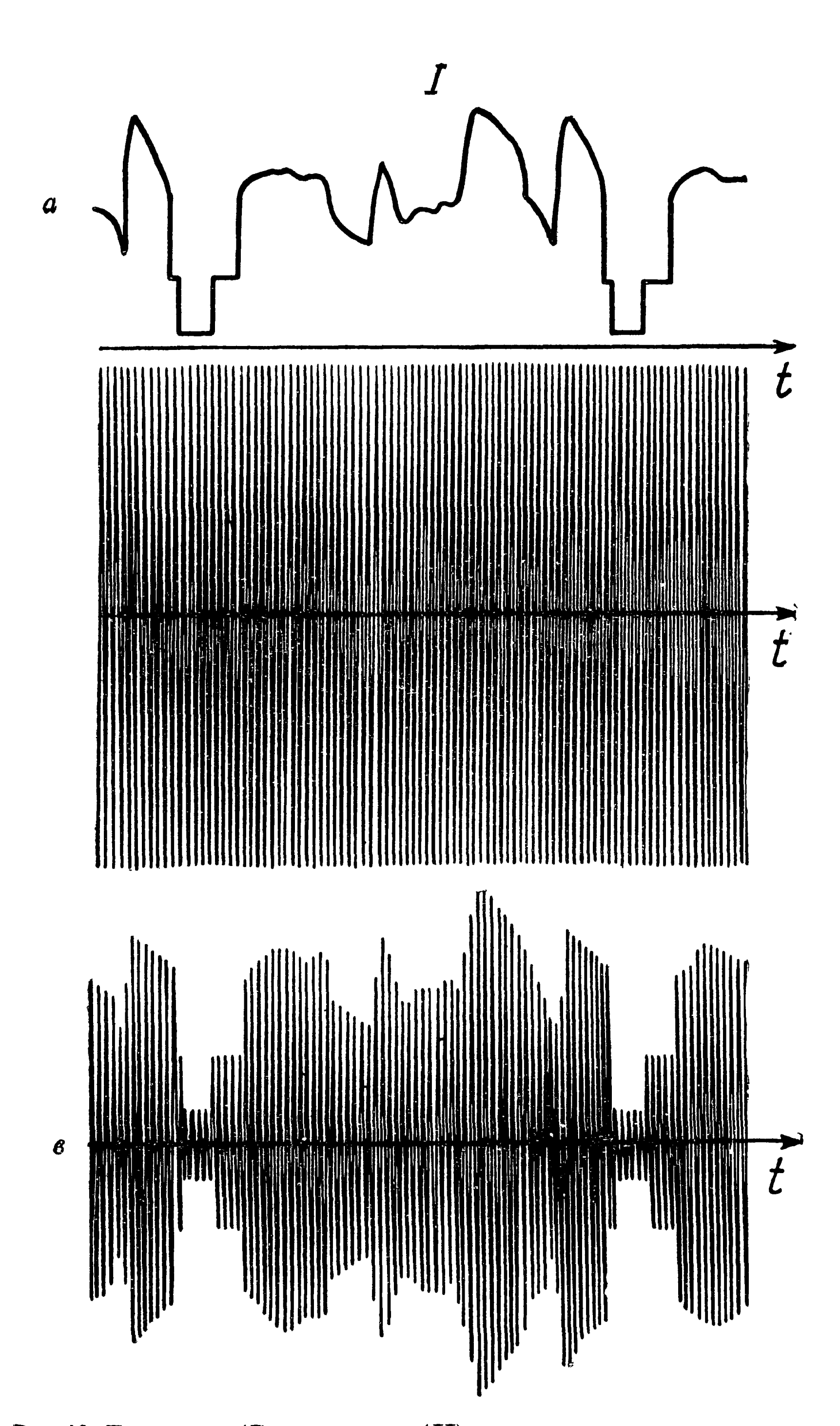


Рис. 18. Позитивная (*I*) и негативная (*II*) модуляция.

а, г — полные телевизионные сигналы; *б, д* — немодулированные колебания высокой частоты; *в, е* — амплитудно-модулированные колебания несущей частоты.

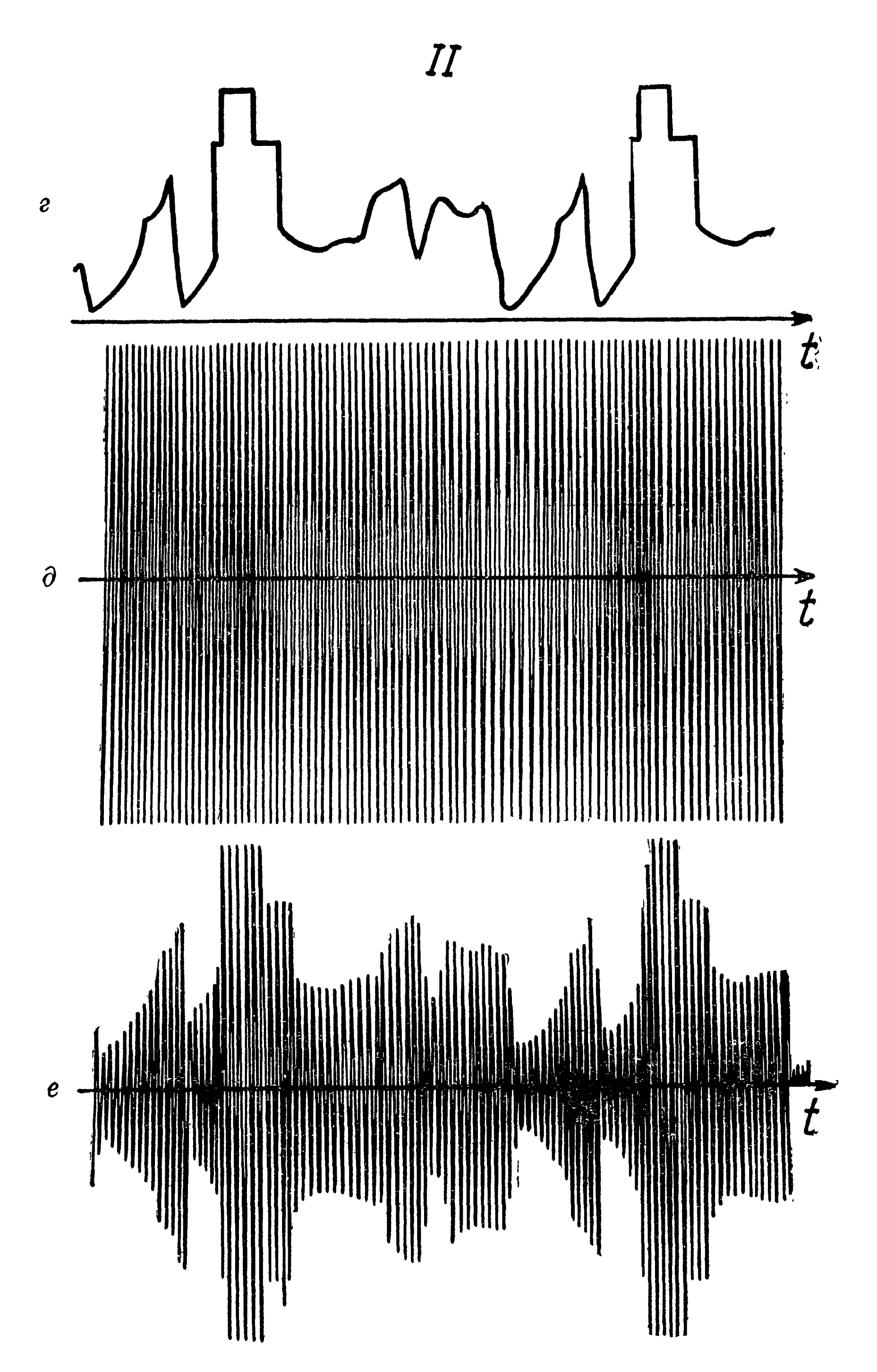


Рис. 18 (*продолжение*).

высокочастотный тракт телевизионных приемников обычно рассчитывается на пропускание одной боковой полосы частот. Тогда отпадает необходимость в излучении на передатчике двух боковых полос.

При передаче цветовых сигналов изображения и сигналов звукового сопровождения в телевидении применяют частотную модуляцию колебаний несущей звука и поднесущей цветности. При частотной модуляции под действием передаваемого сигнала изменяется не амплитуда,

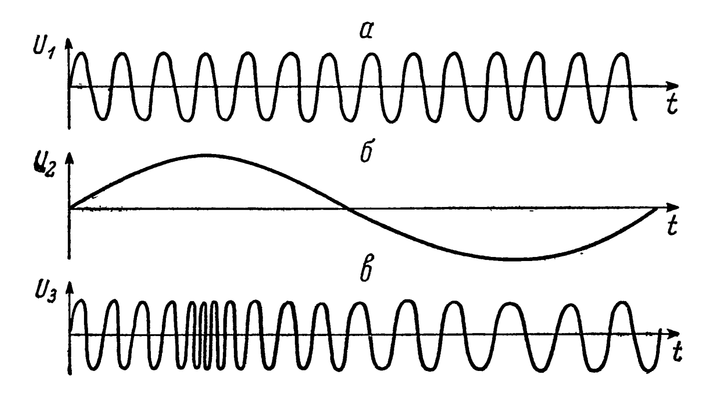


Рис. 19. Процесс частотной модуляции.

а — немодулированные колебания несущей частоты; *б* — модулирующие колебания; *в* — частотно-модулированные колебания.

а частота несущего колебания. На рис. 19 показаны графики модулирующего синусоидального колебания и колебания с переменной высокой частотой, полученного в результате частотной модуляции. За время одного полупериода модулирующего колебания частота несущего колебания возрастает, доходит до наибольшего значения, а затем возвращается к прежнему значению. В течение другого полупериода колебания сигнала частота несущего колебания уменьшается, доходит до наименьшего значения и снова принимает первоначальное значение. Чем больше амплитуда модулирующего колебания, тем больше изменяется частота. Главным достоинством частотной модуляции является ослабление действия помех, что позволяет улучшить качество приема. Изменение частоты модулируемых колебаний под воздействием модулирующих колебаний называют девиацией частоты ΔF, а отношение девиации частоты к частоте несущих колебаний $\Delta F/f$ — индексом

частотной модуляции. Информация о сигнале передается только при помощи боковых полос спектра частотно-модулированных колебаний. Эффективность этой передачи тем выше, чем большая мощность частотно-модулированных колебаний содержится в боковых полосах. Чем больше индекс модуляции, тем большая мощность будет приходиться на боковые полосы и меньшая — на мощность колебаний несущей частоты.

Высокочастотные колебания, промодулированные тем или иным способом, поступают в мощный усилитель. Последний по принципу действия аналогичен вышеописанному ламповому усилителю, однако конструктивно ввиду очень больших токов ламп и анодных питающих напряжений он весьма своеобразен. Применяемые в усилителе лампы нормально работают с принудительным водяным или воздушным охлаждением. Прежде чем подводить колебания к антенне, их пропускают через фильтр, подавляющий часть нижней боковой полосы частот. К антенне телевизионного радиопередатчика предъявляется требование равномерного излучения колебаний всех частот, генерируемых передатчиком. Антенна обычно располагается в центре той территории, которая обслуживается данным передатчиком. Поэтому она должна излучать колебания одинаково во все стороны в горизонтальной плоскости. При протекании тока высокой частоты вокруг антенны возникают электрическое и магнитное поля. Непрерывно меняющиеся по величине и направлению, они образуют единое электромагнитное поле, которое распространяется от антенны в окружающее пространство. Величина излучаемой антенной энергии пропорциональна мощности питающего тока и квадрату его частоты. Излучательная способность антенны растет вместе с увеличением ее размеров по сравнению с длиной волны излучаемых колебаний.

Распространяясь от передающей антенны со скоростью света, электромагнитное поле возбуждает электрические колебания во всех телах, способных проводить ток. На возбуждение и поддержание этих колебаний постепенно расходуется энергия электромагнитного поля; с удалением от радиопередатчика радиоволны постепенно затухают. Одновременно в различных уголках земного шара работают тысячи радиопередатчиков. Электромагнитные поля этих радиостанций пересекают приемную антенну,

индуктируют в ней эдс. В этом случае электромагнитное поле передает свою энергию антенне; величина возбуждаемого в приемной антенне тока зависит от напряженности поля, размеров и конфигурации антенны.

Принятые сигналы многих частот (соответствующие излучениям многих радиостанций) от антенны подводятся к входному колебательному контуру телевизионного приемника. Из колебаний множества частот входной контур выделяет колебания узкой полосы частот, которые значительно усиливаются. Кроме усиления, принятые сигналы подвергаются другим преобразованиям. В процессе детектирования из принятого и усиленного радиосигнала выделяется телевизионный сигнал, которым были первоначально модулированы колебания высокой (несущей) частоты. Выделенный в результате детектирования сигнал изображения дополнительно усиливается видеоусилителем, а затем подается на управляющий электрод приемной трубки. В последней электрические сигналы изображения преобразуются в последовательность вспышек различных точек экрана, воспринимаемых зрителем как слитное телевизионное изображение.

От видеоусилителя телевизионные сигналы ответвляются на разделяющее устройство, которое отделяет сигналы синхронизации от сигналов изображения. Выделенные сигналы синхронизации в свою очередь разделяются на строчные и полевые* синхронизирующие импульсы. Разделенные сигналы синхронизации управляют работой генераторов строчных и полевых отклоняющих колебаний.

Передача телевизионных сигналов изображения в телевизионном вещании делается лишь на ультракоротких волнах, длина которых меньше 10 м (частота больше 30 МГц). Причина этого заключается в том, что для неискаженной передачи модулирующих колебаний несущая частота радиопередатчика должна быть в 5—10 раз больше частоты модулирующего сигнала, а высшая частота телевизионного сигнала в советском телевизионном вещании превышает 6 МГц.

Ограничение в диапазоне используемых волн приводит к ограничению дальности радиотелевизионной связи.

---

* По новому ГОСТу 21879-76 на цветное телевидение термин «кадровые импульсы» заменен термином «полевые импульсы».

Ультракороткие волны не обладают способностью распространяться вдоль Земли на такие расстояния, как короткие, средние и длинные радиоволны, которые вследствие преломления в ионизированных слоях атмосферы и дифракционного огибания земной поверхности могут распространяться далеко за пределы прямой видимости. Чем больше длина волны, тем меньшую роль играет преломление в ионосфере и тем важнее значение дифракции. Ультракороткие же волны пронизывают ионосферу насквозь и безвозвратно уходят в межпланетное пространство. Эти волны почти не огибают земную поверхность и распространяются в пределах прямой видимости между приемной и передающей антеннами, поэтому дальность действия ультракоротковолновых радиостанций мала.

Расстояние прямой видимости увеличивают за счет подъема антенн. Для приема программ телевизионного вещания телезритель не может установить приемную антенну на очень большую высоту, поэтому на высоких мачтах устанавливают антенны телевизионных центров. Однако большая высота подъема антенны не является единственным методом увеличения дальности радиотелевизионной связи. Телевизионные сигналы передаются также по наземным кабельным линиям связи и по радиорелейным линиям связи. Последние образуют цепи наземных автоматически действующих приемно-передающих установок, располагаемых одна от другой на расстоянии прямой видимости.

Огромные возможности передачи телевизионных сигналов на целые материки открыло использование искусственных спутников Земли — спутников связи. С их помощью ретрансляционные средства поднимаются на большую высоту, и этим обеспечивается передача ультракоротких волн на огромные расстояния, ибо между источником радиосигналов и радиоприемным устройством в этом случае уже нет механических преград, поглощающих радиоволны. Такие спутники одновременно видны в точках земного шара, расположенных на тысячи километров друг от друга. Подобные системы связи состоят из наземной приемной и передающей аппаратуры и одного или нескольких спутников, запущенных на постоянные орбиты на высоту в несколько десятков тысяч километров.

Глава 3

ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Общие сведения

Получение цветного изображения почти во всех системах цветного телевидения основано на методах слагательного смешения нескольких основных цветов. За исходные цвета большинства систем берутся три насыщенных спектральных цвета: красный, зеленый и синий. В соответствии с этим на передающей стороне телевизионной системы изображение передаваемого объекта оптически разделяется на три отдельных изображения в основных цветах. В приемном устройстве тем или иным способом воспроизводятся три цветных изображения в основных цветах, которые совмещаются в одно цветное.

Бо́льшая сложность цветных телевизионных систем по сравнению с черно-белыми вызвана необходимостью передачи сигналов, управляющих не только яркостью, но и цветом каждого элемента изображения. Сложными являются оконечные устройства телевизионных цветных систем — передающие камеры и воспроизводящие устройства. Любую из многочисленных цветных телевизионных систем, основанных на воспроизведении изображения с помощью смешения трех основных цветов, можно отнести к одной из трех групп: одновременных, последовательных или смешанных.

Одновременные системы цветного телевидения

Изображение передаваемого объекта в этих системах проецируется на фотокатоды трех передающих телевизионных трубок в трех цветах (рис. 20). Общий световой поток от объекта разделяется на три потока с помощью цветоизбирательных зеркал. Принцип действия их основан на том, что полупрозрачные тончайшие пленки

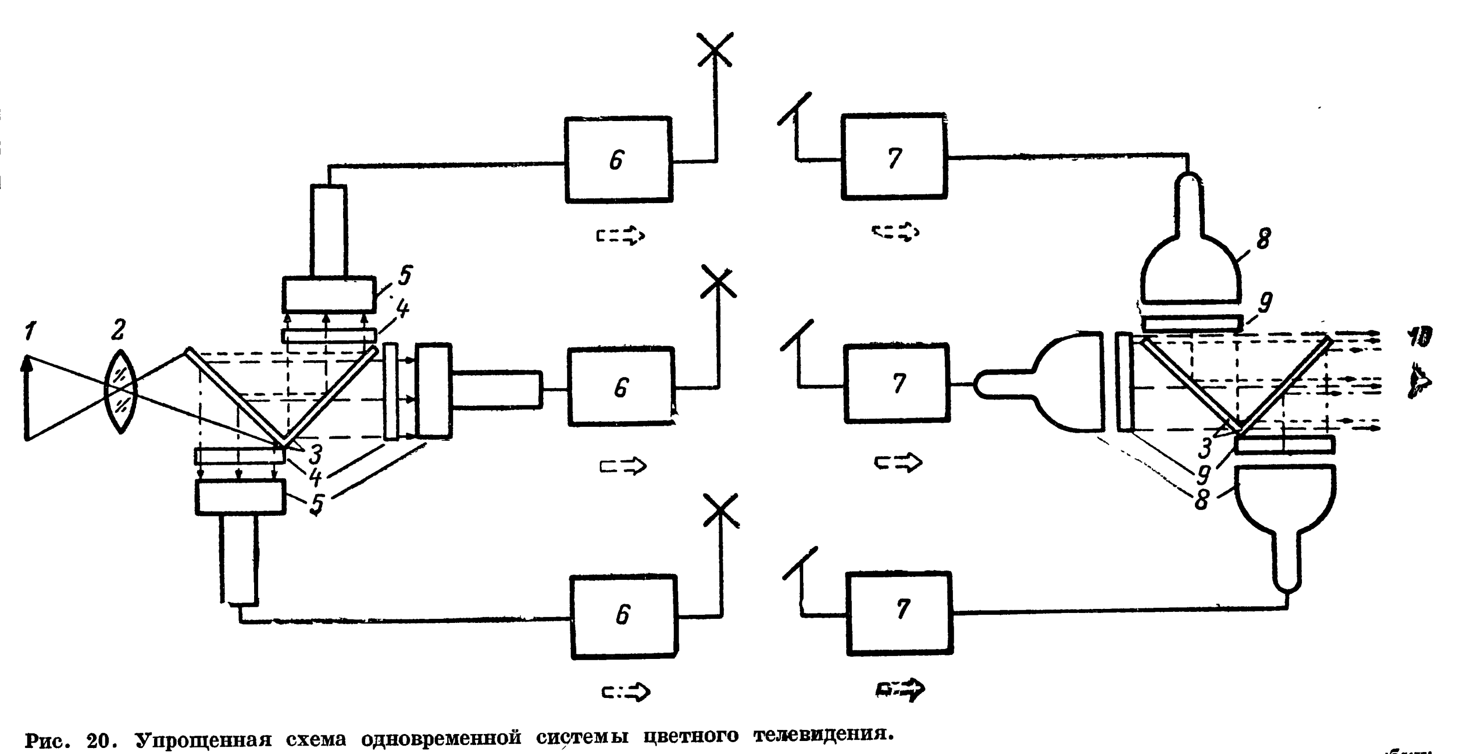


Рис. 20. Упрощенная схема одновременной системы цветного телевидения.

1 — объект; *2* — объектив; *3* — полупрозрачные зеркала; *4* — корректирующие светофильтры; *5* — передающие трубки; *6* — радиопередатчики; *7* — радиоприемники; *8* — кинескопы; *9* — светофильтры; *10* — наблюдатель.

металлов и некоторых других веществ, нанесенные на поверхности стекла, отражают лучи одной части спектра и почти без потерь пропускают остальные лучи. Таким образом, первое зеркало отражает синие лучи к соответствующей трубке, а остальные лучи пропускает. Второе зеркало отражает красные лучи ко второй трубке и пропускает зеленые лучи к третьей трубке. Для коррекции спектральных характеристик цветоизбирательных зеркал и передающих трубок перед трубками помещены корректирующие светофильтры. Развертка электронных пучков во всех трех трубках осуществляется от одних общих генераторов пилообразных отклоняющих токов. В результате на выходе трубок одновременно появляются напряжения, пропорциональные модулям цветовых координат передаваемого цвета, $U_{\text{К}}$, $U_{\text{З}}$ и $U_{\text{С}}$. Полученные сигналы $U_{\text{К}}$, $U_{\text{З}}$ и $U_{\text{С}}$ передаются по трем самостоятельным каналам связи одновременно.

В приемном устройстве три изображения надо оптически совместить в одно. Для этого можно использовать три трубки с основными цветами свечения экрана; можно использовать трубки с белым свечением, но каждая из них должна быть прикрыта соответствующим светофильтром (последний вариант и показан на рис. 20). Однако в настоящее время в основном используются приемные трубки, где экран состоит из разных люминофоров, светящихся основными цветами.

Если для передачи цветовых телевизионных сигналов используются отдельные передатчики и приемники и применяется однополосная передача, то общий требуемый спектр частот канала связи будет более 20 МГц, если предположить, что каждый первичный телевизионный сигнал должен быть передан в полосе частот 6 МГц и если используются защитные частотные полосы между каналами для четкого разделения сигналов на месте приема. Наряду с чрезвычайно широкой требуемой полосой частот, трехканальная система имеет и другие дефекты, которые делают систему неприменимой. Так, например, необходимость в трех радиопередатчиках, фильтрах боковой полосы и отдельных антенных системах, а также в трех отдельных каналах в приемниках приводит к громоздкости и большой стоимости передающего и приемного оборудования. Изменение условий распространения радиоволн в трех отдельных каналах также является источником

ряда проблем. Наконец, такая система несовместима с существующими системами черно-белого телевидения. Что это значит?

Совместимость. Трудности внедрения цветного телевидения в какой-то мере были обусловлены развитием черно-белого телевидения. Дело заключалось в следующем. Приходилось считаться с тем фактом, что в строй вступало все большее и большее число телевизионных станций черно-белого телевидения и многомиллионная аудитория его росла год от года. Развитие черно-белого телевидения сделало жизненно необходимым совмещение цветного телевидения с действующим черно-белым. Это значит, что для десятков миллионов владельцев черно-белых телевизоров была желательной возможность приема, хотя бы и в черно-белом варианте, программ цветного телевидения. В то же время вполне допустимо, что владелец цветного телевизора захочет посмотреть одну из программ черно-белого телевидения при помощи своего цветного телевизора. Крайне важным было также предусмотреть использование разнообразного сложного и дорогостоящего оборудования телецентров, радиопередатчиков, наземных и космических радиорелейных и кабельных наземных линий связи черно-белого телевидения для передачи цветных программ.

Совместимость цветной системы можно было обеспечить при соблюдении следующих трех условий. Цветная система должна: а) использовать те же частоты развертывающих устройств и те же синхронизирующие и гасящие импульсы; б) создавать один и тот же телевизионный сигнал, который несет примерно ту же информацию, что и сигнал черно-белого телевидения; в) работать с таким же разносом частот между несущими звука и изображения, что и в вещательном черно-белом телевизионном высокочастотном сигнале.

Передающая часть совместимых систем. Допустим, что в совместимой цветной телевизионной системе используется трехтрубочная передающая камера. Предположим далее, что на выходе ее имеются сигналы, соответствующие изображениям в основных цветах. В канале каждого из трех сигналов отрегулируем коэффициенты усиления так, чтобы при передаче белого поля изображения напряжения $U_к$, $U_з$ и $U_с$ были равны. Предположим также, что яркости основных цветов вос-

производящего устройства линейно изменяются в зависимости от приложенных сигналов изображения. И, наконец, относительные яркости свечения люминофоров воспроизводящей трубки для случая воспроизведения белого цвета равны l, m и n, соответственно, для красного, зеленого и синего цветов (причем $l+m+n=1$). Тогда сигнал, описывающий яркость сцены, может быть получен из сигналов трех каналов передающей части телевизионной системы как сумма следующих компонентов:

$$U_{я}=lU_{к}+mU_{з}+nU_{с}.$$

Сигнал $U_{я}$ тогда будет правильно воспроизводить яркость каждой точки сцены. В цепи каждого из трех каналов воспроизводящего устройства здесь используются усилители, коэффициенты усиления которых отрегулированы так, что белое на экране возникает при равенстве сигналов $U_{к}$, $U_{з}$ и $U_{с}$. Яркость телевизионного изображения тогда будет пропорциональна величине $U_{я}$ и вызовет появление черно-белого изображения.

Предположим далее, что в цветной телевизионной камере создаются еще три сигнала, соответствующих цветной сцене. Такими сигналами могут быть:

$$U_{к-я}=U_{к}-U_{я},\ U_{з-я}=U_{з}-U_{я},\ U_{с-я}=U_{с}-U_{я}.$$

Эти сигналы называются цветоразностными, причем два из них передаются вместе с яркостным сигналом $U_{я}$. В цветном телевизоре в нашем распоряжении будут сигналы $U_{я}$, $U_{к-я}$, $U_{з-я}$ и $U_{с-я}$. Эти сигналы могут быть использованы далее для получения трех первичных цветовых сигналов путем сложения яркостного сигнала $U_{я}$ с каждым из цветоразностных сигналов:

$$U_{к}=U_{к-я}+U_{я},\ U_{з}=U_{з-я}+U_{я},\ U_{с}=U_{с-я}+U_{я}.$$

При этом яркость цветного изображения будет пропорциональна величине $lU_{к}+mU_{з}+nU_{с}$.

К чему же мы пришли? Во-первых, к тому, что яркости черно-белого и цветного изображений, создаваемых под воздействием цветных сигналов, оказываются равными. Во-вторых, яркость цветного изображения независима от цветности сцены. Имея в виду второй вывод, можно искать пути для сокращения общей полосы частот цветного сигнала за счет сокращения полосы частот, занимаемой цветоразностными сигналами $U_{к-я}$, $U_{з-я}$ и $U_{с-я}$, без ущерба для яркостного, черно-белого изображения.

Возможности сокращения полосы частот. Одна из возможностей сокращения полосы частот, занимаемой спектром цветного телевизионного сигнала, основывается на изменении цветовосприятия в зависимости от угла зрения. При уменьшении угла зрения чувствительность аппарата зрения к различению цветности падает быстрее, чем чувствительность к различению яркости, причем неодинаково для различных цветностей. Цвета кажутся изменившимися: зеленый кажется синим, желтый — белым, фиолетовый и желтый цвета равной интенсивности не различимы и т. д. Желтые и синие тона теряют хроматичность раньше красных и зеленых. При определенном малом угле зрения (порядка 6—10′), т. е. при рассматривании мелких деталей, все цвета не отличаются от серых.

Все телевизионное изображение обычно занимает угол зрения от 6 до 14° (в зависимости от высоты экрана и расстояния наблюдателя до него), а межстрочное расстояние видно под углом 1.7′—0.7′. Следовательно, детали, меньшие чем 4—6 элементов, можно без ущерба для качества изображения воспроизводить в черно-белом виде. Из этого следует, что полосы частот цветоразностных сигналов могут быть значительно сокращены. Но следует ли делать это сокращение полос частот одинаковым? Опыты показали, что разрешающая способность зрения различна в красном, зеленом, синем цветах. Ввиду того что основную информацию о зеленых цветах несет яркостный сигнал, вполне можно допустить следующее. Острота зрения $1/\delta$ (δ — разрешаемый угол) в белом, красном и синем относится приблизительно как $\frac{1}{\delta_я} : \frac{1}{\delta_к} : \frac{1}{\delta_с} = 1 : 0.4 : 0.17$.

Это означает, что вполне удовлетворительное цветное изображение может быть получено, если полосы частот в «красном» и «синем» каналах одновременной системы цветного телевидения будут относиться к полной полосе частот в белом F как $F_к/F=0.4$ и $F_с/F=0.17$. Из этого следует, что если на четкое белое (зеленое) изображение наложить красное и синее, то красное может быть примерно в 2.5 раза, а синее в 6 раз менее четким и наблюдатель этого не заметит.

Следующая возможность сужения требуемой полосы пропускания канала связи при передаче сигналов цветного телевидения заключается в следующем. Как отме-

чалось выше, полоса частот канала связи, отводимая одной программе черно-белого телевидения, используется далеко не полностью. Это обусловлено тем, что вследствие периодичности развертки и относительно малой скорости изменения сигнала от кадра к кадру основная энергия спектра представлена гармониками строчной и полевой частот. Правда, при передаче движущихся изображений дискретные линии спектра (см. рис. 11) «расплываются» в полосы. Однако даже при быстрых движениях в поле зрения телевизионной камеры в спектре сигнала около половины всей полосы частот от 0 до F оказывается пустой. Эту особенность спектра телевизионного сигнала было предложено использовать для сокращения требуемой ширины канала связи в цветном телевидении. С этой целью в участок спектра черно-белых сигналов (яркостных сигналов) цветных передач на пустующие места предлагалось помещать узкополосные (сравнительно с яркостными) сигналы цветности. Этот процесс называют перемежением, или переплетением, спектров. Его осуществляют с помощью модуляции колебаний поднесущей частоты.

И наконец, нет необходимости передавать от камеры к цветному телевизору все три цветоразностных сигнала. Оказывается достаточным передать только два из них, например $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$. В этом случае сигналы $U_к$ и $U_с$ могут быть получены уже описанным методом, а сигнал $U_з$ — из двух цветовых и одного яркостного сигналов посредством операции $U_з=U_я/m-lU_к/m-nU_с/m$, выполняемой схемным путем.

Практическое использование всех упомянутых возможностей и позволяет в три раза сжать полосу частот, отводимую для передачи полного цветного изображения, т. е. до полосы частот черно-белого телевидения, без заметного снижения качества изображения. При этом решается и проблема совместимости.

Однако практически вложить цветовую узкополосную информацию в спектр черно-белого телевизионного сигнала оказалось не просто, что и явилось причиной появления большого числа предложений по практическому осуществлению цветных телевизионных систем.

Одновременная совместимая система с одной цветовой поднесущей. В конце 1953 г. в США для вещания была принята система

цветного телевидения НТСЦ,* в 1960 г. ее приняли в Японии, а позднее — в Канаде. В этих странах существует общий стандарт на черно-белое телевидение — 525 строк разложения, 30 кадров в 1 с.

На выходах передающей камеры этой системы имеются три сигнала, полученные от трубок, на светочувствительные поверхности которых проецируются три цветоделенных изображения (рис. 21). Сигналы $U_к$, $U_з$ и $U_с$ преобразуются в матричном устройстве так, что на его выходе появляется яркостный сигнал $U_я$ и два цветоразностных сигнала $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$. Частотные спектры цветоразностных сигналов ограничиваются с помощью электрических фильтров, пропускающих только низкочастотные составляющие (примерно до 20% от высшей частоты яркостного сигнала). Последнее и приводит к тому, что цветовые сигналы несут информацию о цветности только крупных деталей изображения. Сигнал $U_я$ поступает от передающей стороны к приемной при помощи колебаний несущей частоты за счет их амплитудной модуляции. Оба цветовых сигнала передаются с помощью вспомогательных колебаний поднесущей, частота которых несколько ниже граничной частоты яркостного сигнала, т. е. частота поднесущей находится в пределах его спектра. Колебания поднесущей создаются на передающем конце системы (рис. 21, *а*) генератором, имеющим два выхода, на одном из которых колебание сдвинуто по фазе относительно другого на 90°. Иными словами, генератор поднесущей создает синусоидальное и косинусоидальное колебания одной частоты. Сигнал $U_{к-я}$ модулирует синусоидальное, а сигнал $U_{с-я}$ — косинусоидальное колебания. В результате модуляции получают два колебания:

$$U_1 = U_{к-я} \sin \omega_п t, \quad U_2 = U_{с-я} \sin(\omega_п t + 90°),$$

где $\omega_п/2\pi = f_п$ — частота поднесущей.

Затем эти колебания складываются в смесителе и получается результирующий сигнал $U_р$, являющийся геометрической суммой векторов U_1 и U_2 (рис. 22, *а*). Величина результирующего сигнала $U_р$ определяется выражением $U_р = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$, а фазовый сдвиг φ колебания $U_р$

---

* NTSC (National television system committee) — национальный комитет телевизионной системы.

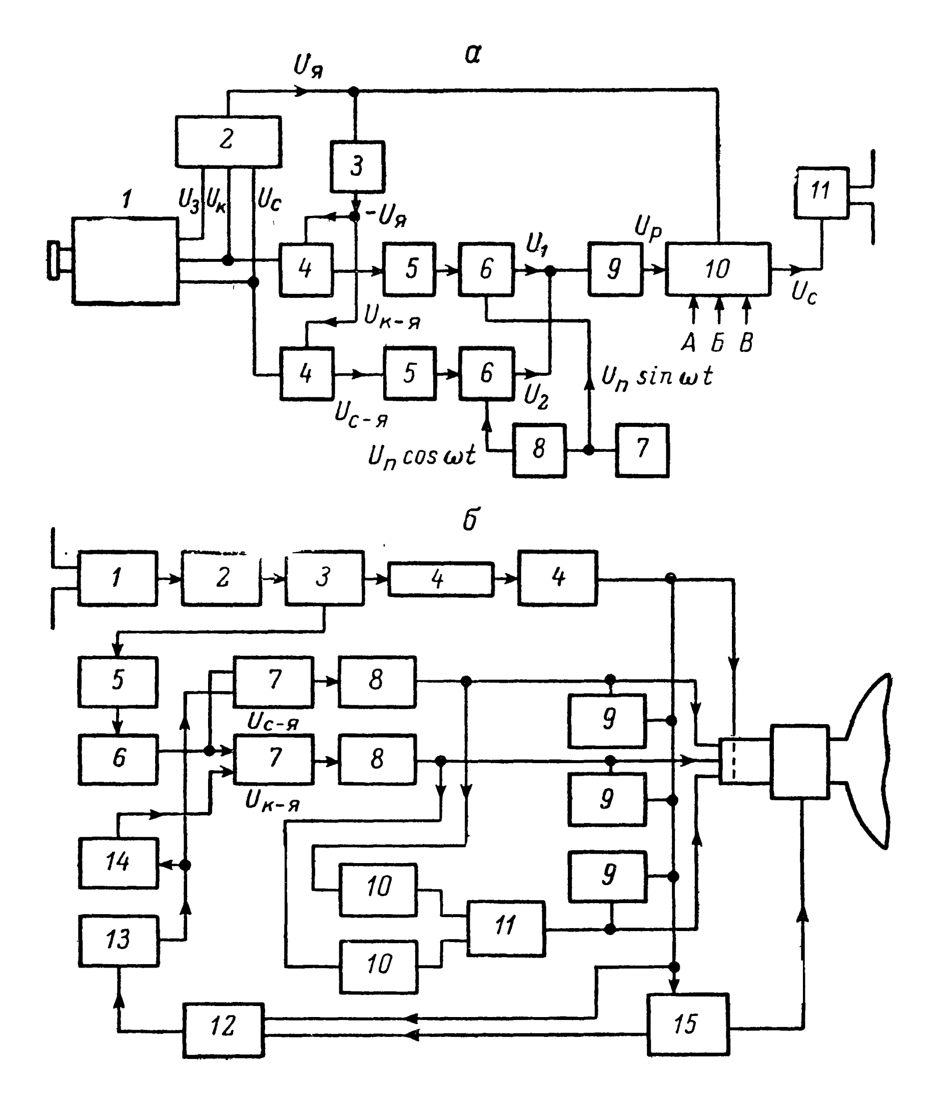


Рис. 21. Блок-схемы системы цветного телевидения с квадратурной модуляцией одной цветовой поднесущей.

а — передатчик: *1* — передающая камера, *2* — пересчетное устройство, *3* — фазовращатель на 180°, *4* — суммирующие устройства, *5* — фильтры низкой частоты сигналов $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$, *6* — модуляторы, *7* — генератор колебаний поднесущей частоты, *8* — фазовращатель на 90°, *9* — линейный усилитель, *10* — смесительный усилитель, *11* — модулятор и радиопередатчик, *А* — строчный синхроимпульс, *Б* — смесь гасящих импульсов, *В* — смесь синхронизирующих импульсов;

б — приемник: *1* — усилитель высокой частоты, *2* — усилитель промежуточной частоты, *3* — видеодетектор, *4* — видеоусилитель, *5* — усилитель сигнала цветности, *6* — полосовой фильтр, *7* — синхронные детекторы $U_{с-я}$ и $U_{к-я}$, *8* — усилители, *9* — фиксирующие цепи, *10* — усилители, *11* — суммирующий каскад $U_{з-я}$, *12* — каскад совпадений, *13* — генератор поднесущей с автоматической подстройкой фазы, *14* — фазовращатель на 90°, *15* — блок разверток.

относительно некоторого начального положения определяется из выражения:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_{\text{к–я}}}{U_{\text{с–я}}}.$$

Колебание $U_{\text{р}}$ можно рассматривать как вращающийся с угловой частотой $\omega_{\text{п}}$ вектор, величина которого определяется насыщенностью передаваемого цвета, а начальный фазовый сдвиг — цветовым тоном. Из этого следует, что любой передаваемый цвет может быть представлен в виде вектора определенной величины, сдвинутого на некоторый угол относительно условного начала отсчета (рис. 22, *б*). Амплитуда колебания поднесущей частоты равна нулю, когда изображение не окрашено, т. е. насыщенность равна нулю, и она будет максимальной при полной насыщенности передаваемого цвета.

Далее складывают сигналы $U_{\text{я}}$ и $U_{\text{р}}$, получая один результирующий сигнал передаваемого цветного изображения $U_{\text{с}}=U_{\text{я}}+U_{\text{р}}$. Сигналом $U_{\text{с}}$ модулируют одно несущее ультракоротковолновое колебание. Последнее излучается в пространство, улавливается приемной антенной, и после преобразований в телевизоре вновь выделяется сигнал $U_{\text{с}}$.

Частота поднесущей выбирается кратной нечетному числу половин строчной частоты: $\left(\frac{2n-1}{2}\right)f_{\text{с}}$, где $n = 1, 2, 3, \ldots$ После суммирования сигналов $U_{\text{я}}$ и $U_{\text{р}}$ их частотные спектры перемежаются. Поднесущая и гармоники сигнала $U_{\text{р}}$ попадут в незаполненные частотные интервалы спектра $U_{\text{я}}$ (см. рис. 11).

В приемном устройстве (рис. 21, *б*) выделенный после детектирования сигнал подводится к полосовому фильтру, пропускающему сигналы только в полосе, в которой содержатся составляющие сигнала $U_{\text{р}}$. Выделенный таким образом сигнал $U_{\text{р}}$ содержит высокочастотные составляющие сигнала $U_{\text{я}}$, однако амплитуды этих мешающих гармоник малы. Сигнал $U_{\text{р}}$ подводится к схемам синхронных детекторов, точнее преобразователей частоты, в которых происходит выделение разностных сигналов. Помимо сигнала $U_{\text{р}}$ к детектору сигнала $U_{\text{с–я}}$ подводится синусоидальное колебание с частотой поднесущей, к детектору сигнала $U_{\text{к–я}}$ — косинусоидальное. При синхронном детектировании несколько ослабляется влияние мешаю-

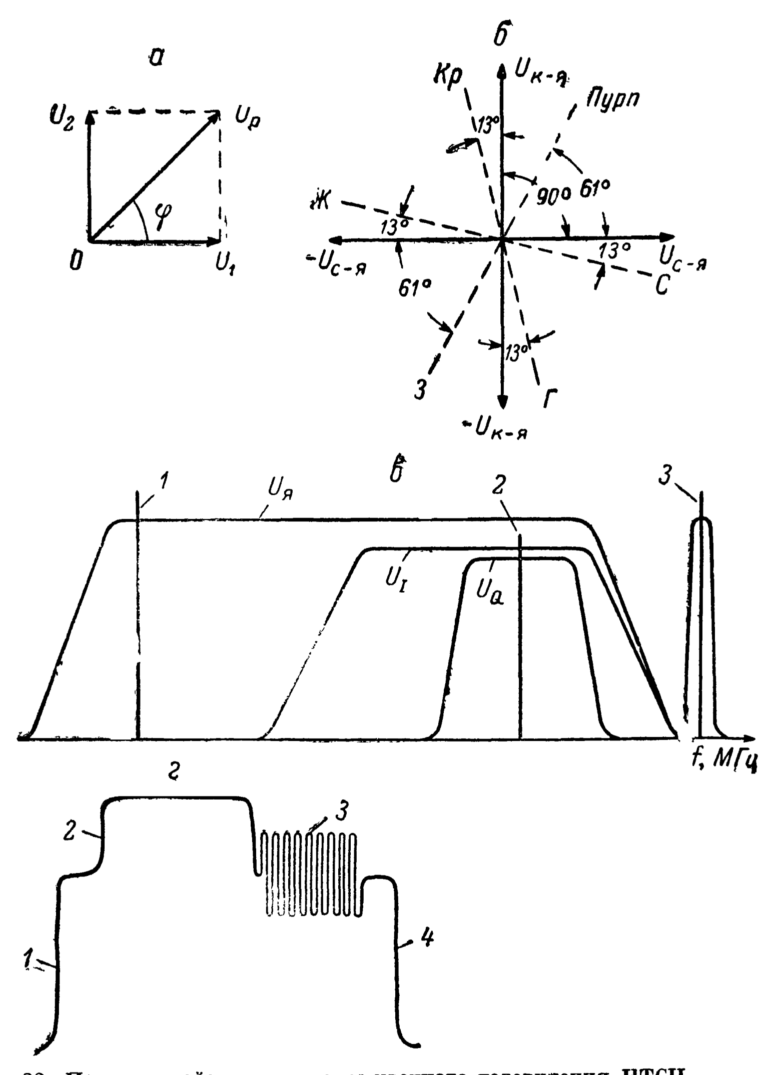


Рис. 22. Принцип действия системы цветного телевидения НТСЦ.

а, б — векторные диаграммы; *в* — спектры сигналов: *1* — несущая изображения, *2* — поднесущая, *3* — несущая звука; *г* — синхросигнал поднесущей на гасящем импульсе строчной развертки: *1* — гасящий импульс, *2* — импульс строчной синхронизации, *3* — сигнал световой синхронизации (вспышка цветовой поднесущей), *4* — задняя площадка гасящего импульса.

щих гармоник сигнала $U_я$, как несимметричных относительно частоты поднесущей. Частота колебаний вспомогательного генератора, необходимого для осуществления синхронного детектирования, должна быть в точности равна частоте поднесущей. Кроме того, фаза колебания должна точно соответствовать фазе принимаемого сигнала $U_р$, ибо фазовые различия непосредственно преобразуются в изменения цветового тона. Поэтому местный генератор принудительно синхронизируется приходящими сигналами. Во время передачи строчного гасящего импульса синхрогенератор передатчика подает несколько калиброванных по фазе циклов поднесущей (рис. 22, *г*), называемых вспышкой поднесущей.

Выделенные в приемнике цветовые сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$ используются в схеме формирования третьего разностного сигнала $U_{з-я}$. Далее каждый из узкополосных разностных сигналов складывается с широкополосным яркостным сигналом, и результирующее напряжение подводится к соответствующим электродам приемной цветной трубки. Сложение узкополосного сигнала $U_{к-я}$ с $U_я$ дает низкочастотные составляющие $U_к$, так как $U_я+U_{к-я}=U_к$, и высокочастотные составляющие сигнала $U_я$, поскольку высокочастотная составляющая $U_{к-я}$ равна нулю. Аналогично этому на выходе второго суммирующего устройства получаются низкочастотные составляющие $U_з$ и высокочастотные составляющие яркостного сигнала. Третье суммирующее устройство дает, соответственно, $U_с$ и $U_я$. Таким образом, крупные детали воспроизводятся в цветах, тогда как мелкая структура изображения в результате одновременного воздействия на все три электронные пушки трехлучевой цветной трубки высокочастотных составляющих сигнала $U_я$ воспроизводится черно-белой.

В применяемой на практике системе НТСЦ, несколько более сложной, чем описанная система, непосредственно цветоразностные сигналы $U_{к-я}$, $U_{с-я}$ не используются. Из начальных сигналов $U_к$, $U_з$ и $U_с$ создаются два сигнала I и Q, являющихся разновидностью сигналов $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$, которые пропускаются через электрические фильтры, ограничивающие их полосы частот (по-разному) перед модуляцией ими колебаний поднесущей частоты и сложением с яркостным сигналом. Цель этого видоизменения системы заключается в увеличении передаваемой цветовой информации, однако выигрыш от этого получается

незначительным. Сигнал Q имеет полосу частот примерно 1.0 МГц и передается с боковыми полосами. Сигнал I имеет полосу в 2.5 МГц и передается с одной боковой полосой (рис. 22, *в*).

Последовательные системы цветного телевидения

Принцип действия последовательной системы цветного телевидения, предложенный русским изобретателем Адамианом, показан на рис. 23. Изображение передаваемого объекта при помощи объектива проецируется на фотокатод передающей трубки последовательно в трех цветах: красном, зеленом и синем. Изображение разделяется

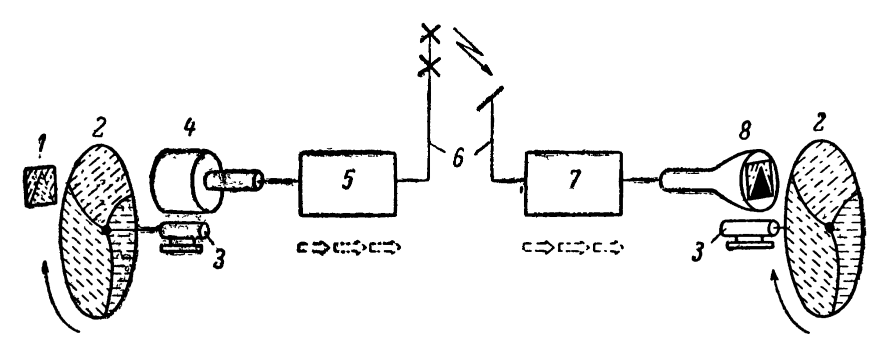


Рис. 23. Упрощенная схема цветной телевизионной системы с последовательной передачей цветов по полям.

1 — объект; *2* — диск со светофильтрами; *3* — электродвигатели; *4* — передающая трубка с объективом; *5* — передатчик; *6* — антенны; *7* — приемник; *8* — приемная трубка.

на три в основных цветах вращающимся диском, составленным из трех светофильтров и устанавливаемым между объективом и передающей трубкой. Изображения одной сцены передаются последовательно во времени — каждый раз в различном цвете. На приемном конце наблюдатель видит изображение передаваемой сцены на экране приемной трубки через такие же светофильтры три раза : сначала через красный, затем через зеленый и через синий. Оба диска вращаются с одинаковой скоростью, и фильтры одного и того же цвета проходят перед обеими трубками одновременно (соблюдается синхронность и синфазность

вращения дисков). Цвет свечения экрана приемной трубки — белый. Общее время передачи всех трех частных цветоделенных изображений, образующих в совокупности полное цветное изображение, не должно превышать кадровый период черно-белого телевидения. В этой системе число элементов изображения, передаваемых за один полный кадр, возрастает в три раза, а следовательно, и в три раза возрастает полоса частот передаваемого сигнала. Если используется даже чересстрочное разложение на 625 строк, то полоса частот будет более 18 МГц. Это недопустимо для вещания, поэтому последовательные системы в телевизионном вещании не применяются. Тем не менее благодаря своей простоте они имеют прикладное значение и используются в науке, промышленности и т. д. Из сказанного, однако, не следует, что при разработке цветных прикладных установок не стремятся к сокращению полосы частот передаваемых сигналов изображения. В настоящее время известно несколько методов такого сокращения.

Последовательная система может быть совместимой, если использовать чередование цветов по строкам, что и было предложено в СССР в 1929 г. Ю. С. Волковым. Двадцатью годами позже в США были выполнены разработка и макетирование такой системы, в которой цветоделенные изображения проецируются на фотокатод передающей трубки рядом, вплотную друг к другу, так что электронный пучок проходит их одной строкой. Частота строк принимается в три раза ниже стандартной, благодаря чему за один период развертки формируются сигналы трех строк для трех основных цветов изображения. В приемнике имеются три отдельные трубки с соответствующими светофильтрами. Изображения, возникающие на экранах трех трубок, оптически совмещаются в одно трехцветное. Эта система имеет ряд недостатков по сравнению с другими системами цветного телевидения.

Смешанные системы цветного телевидения

Из большого числа смешанных систем цветного телевидения, предложенных различными авторами, рассмотрим лишь те, которые используются в современном телевизионном вещании.

С и с т е м а с п о в о р о т о м ф а з ы ч е р е з с т р о к у. В 1966 г. фирмой Телефункен (ФРГ) была закончена разработка системы ПАЛ,* которая принята для вещания в странах Западной Европы, кроме Франции. Здесь передаваемый сигнал подобен сигналу системы НТСЦ за тем исключением, что компонент U_I сигнала цветности в передатчике и приемнике переключается на 180° от строки к строке. Цель этого переключения фазы состоит в компенсации искажений цветового тона из-за фазовых искажений, накопленных в тракте передачи (рис. 24).

Переключение фазы поднесущей здесь приводит к тому, что вектор сигнала цветности U_I, занимающий в одной строке то же положение, что и в системе НТСЦ (рис. 25, *а*), в следующей строке занимает комплексно сопряженное положение U_I^* (рис. 25, *б*). В результате направление поворота фаз на векторной диаграмме сигнала цветности изменяется на обратное от строки к строке. Тогда относительное направление фазовых искажений в тракте передачи изменяется на обратное в каждой следующей строке, а также и в каждом следующем кадре. Поэтому и результирующие искажения цветового тона в соседних строках и кадрах оказываются направленными встречно и могут быть взаимно скомпенсированы. Такая компенсация достигается суммированием сигналов соседних строк, для чего в приемнике используется линия задержки сигнала на время одной строки.

Однако в упрощенных моделях цветных телевизоров ультразвуковая линия задержки отсутствует. С выхода радиоприемника полный телевизионный сигнал здесь поступает в фильтр, разделяющий яркостную и цветовую составляющие полного телевизионного сигнала, а также выделяющий сигналы для синхронизации генератора опорной частоты. На выходах двух детекторов создаются сигналы U_I и U_Q. Сигнал U_Q подводится без изменений к матричному (декодирующему) устройству, а составляющая сигнала U_I подводится к матричному устройству через переключатель и фазовращатель. В данном случае складываются не электрические сигналы соседних строк изображения, а изображения этих строк в сознании наблюдателя. При этом фазовые искажения не вызывают за-

* PAL (Phase alternation line) — перемена фазы строк.

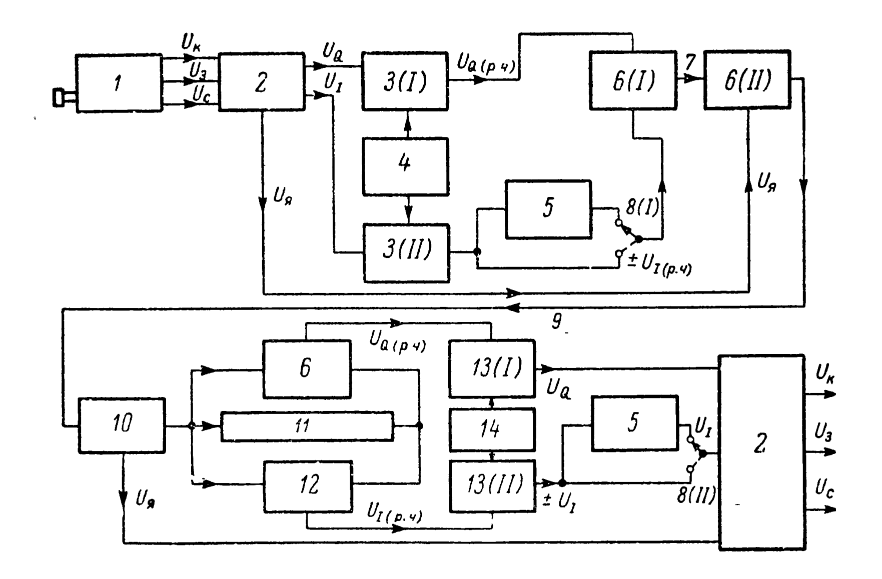


Рис. 24. Упрощенная блок-схема системы ПАЛ.

1 — передающая камера; *2* — пересчетное устройство; *3* — модулятор; *4* — генератор колебаний поднесущей частоты; *5* — фазовращатель; *6* — суммирующее устройство; *7* — цветовой сигнал; *8* — переключатель; *9* — телевизионный сигнал ПАЛ; *10* — фильтр; *11* — линия задержки; *12* — вычитающее устройство; *13* — детектор; *14* — генератор колебаний опорной частоты.

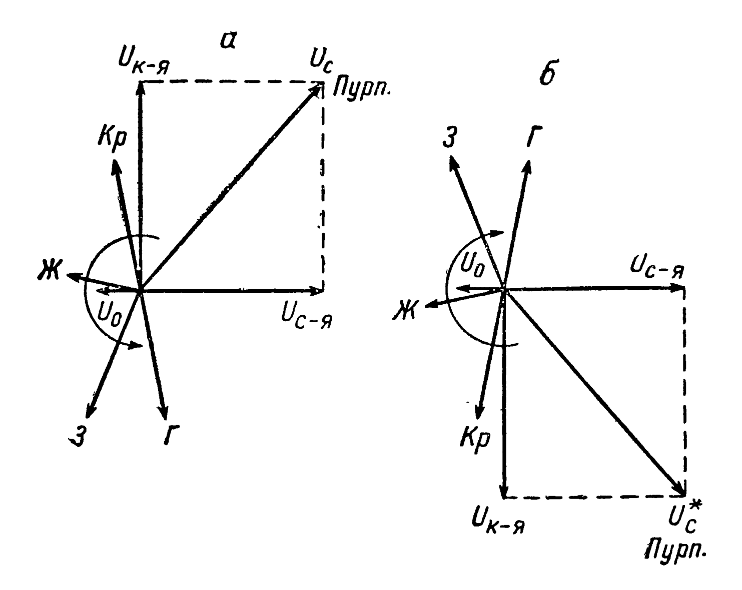


Рис. 25. Векторные диаграммы сигнала цветности системы ПАЛ в соседних строках.

метных искажений цветового тона. Однако появляются искажения, называемые разнояркостью строк. Заключаются они в том, что происходит чередование светлых и темных строк в насыщенных тонах цветного изображения.

Система с чередующейся передачей и запоминанием строчных цветоразностных сигналов. В 1959 г. во Франции

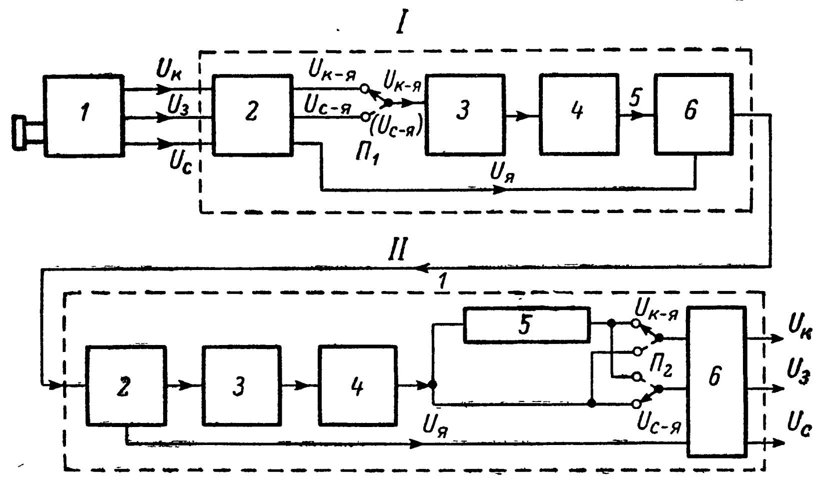


Рис. 26. Упрощенная блок-схема цветной телевизионной системы СЕКАМ.

I — кодирующее устройство: *1* — передающая камера, *2* — пересчетное устройство, *3* — частотный модулятор, *4* — цепь предкоррекции, *5* — цветовой сигнал, *6* — суммирующее устройство; *II* — декодирующее устройство: *1* — телевизионный сигнал СЕКАМ, *2* — фильтры, *3* — полосовой фильтр, *4* — частотный детектор, *5* — линия задержки, *6* — пересчетное устройство.

была закончена разработка системы, предложенной Анри де Франсем. Дальнейшим развитием ее является система СЕКАМ,* в которой (рис. 26) непрерывно передается один совместимый яркостный сигнал $U_я$, а на поднесущей частоте передаются поочередно (через строку) ограниченные по полосе цветоразностные сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$. С передающей камеры сигналы $U_к$, $U_з$ и $U_с$ подаются на кодирующее устройство, где сначала поступают на пересчетное устройство (матрицу). На выходе его получают сигналы $U_я$, $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$. На частотный модулятор цветоразностные сигналы поступают не одновременно, а через строчный интервал поочередно. Чередование сигналов цвет-

* SECAM (Sequence de couleurs avec mémoire) — последовательность цветов с запоминанием.

ности производит коммутатор. От устройства, где создается колебание поднесущей и его частотная модуляция одним из цветоразностных сигналов, колебание модулированной поднесущей поступает в цепь высокочастотной предкоррекции. В суммирующем устройстве происходит смешение яркостного сигнала и частотно-модулированного колебания поднесущей.

В декодирующем устройстве цветного телевизора принятый полный сигнал поступает в два фильтра. Один из них отделяет яркостный сигнал от частотно-модулированных колебаний цветовой поднесущей. Второй (полосовой) фильтр выделяет из полного сигнала колебания цветовой поднесущей. За этим фильтром следует устройство, восстанавливающее правильное соотношение амплитуд колебаний поднесущей. После выделения частотным детектором цветоразностные сигналы $U_{к-я}$ или $U_{с-я}$ попеременно (в зависимости от того, какая строка изображения передается) поступают и в линию задержки и в электронный коммутатор. Последний действует так, что на его выходе оказываются одновременно два цветоразностных сигнала $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$, которые ранее передавались по очереди, через строку. С выхода коммутатора сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$ смежных строк поступают на схему, вырабатывающую третий цветоразностный сигнал $U_{з-я}$. На катоды трех пушек цветной приемной трубки подается яркостный сигнал $U_{я}$, а на модулирующие их электроды — цветоразностные сигналы $U_{к-я}$, $U_{з-я}$ и $U_{с-я}$.

На электронных пушках в каждый данный момент времени действуют сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$, принадлежащие двум смежным строкам. Это наполовину уменьшает вертикальную четкость изображения цветовой подкраски (горизонтальная четкость уменьшена за счет сокращения спектра цветоразностных сигналов). Это свойство системы оправдывают тем, что с учетом свойств зрения нет смысла передавать цветовую информацию, обеспечивающую по вертикали бо́льшую четкость, чем по горизонтали.

Таким образом, принципиальной особенностью системы является то, что каждый из двух компонентов цветового сигнала передается через строку, а это значит, что по каналу связи одновременно передаются только два сигнала — яркостный и один из цветоразностных. В приемнике непереданная цветовая информация восполняется

простым повторением информации, переданной во время развертки предыдущей строки. Это обеспечивает наличие в приемнике одновременно всех трех сигналов, хотя фактически их было передано два.

Система с квадратурной модуляцией поднесущей цветоразностными сигналами и постоянной фазой поднесущей через строку. В 1964 г. в СССР В. Е. Теслером была предложена система, названная системой НИИР (Научно-исследовательского института

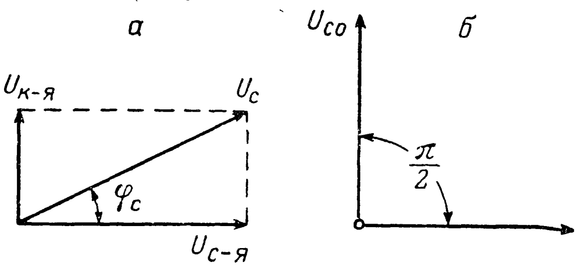


Рис. 27. Векторные диаграммы сигналов цветности системы НИИР.
а — с квадратурной модуляцией; б — с постоянной фазой.

радио). В спектре яркостного сигнала этой системы расположена цветовая поднесущая, которая в одной строке квадратурно модулирована двумя цветоразностными сигналами, а в следующей строке имеет такую же амплитудную модуляцию цветоразностными сигналами, но фаза поднесущей не меняется с изменением соотношения сигналов $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$ (как это происходит в системе НТСЦ), а остается постоянной. Это поднесущее колебание с постоянной фазой во второй строке используется в качестве опорного при синхронном детектировании поднесущей из предшествующей поднесущей. В приемнике сигналы цветности соседних строк с помощью линии задержки выделяются одновременно и перемножаются, давая цветоразностные сигналы. При этом все виды фазовых искажений, вносимых каналом связи, действуют одинаково на оба перемножаемых сигнала и поэтому не дают какого-либо вредного эффекта. К тому же отпадает необходимость восстанавливать поднесущую. Векторные диаграммы сигналов цветности системы НИИР показаны на рис. 27. В одной строке сигнал цветности имеет квадратурную модуляцию (рис. 27, *а*):

$$U_c = U_{см} \sin(\omega_0 t + \varphi_c),$$

а в следующей строке (опорной) сигнал цветности имеет постоянную фазу (рис. 27, *б*):

$$U_{со} = U_{см} \sin(\omega_0 t + \pi/2).$$

Величина фазового угла $\varphi_с$ определяется из выражения

$$\operatorname{arc\,tg} \varphi_с = \frac{U_{к-я}}{U_{с-я}}.$$

При перемножении сигналов двух соседних строк в синхронном детекторе телевизора сигнал $U_{со}$ служит опорной поднесущей для сигнала $U_с$, и в результате выделяется та составляющая последнего, фаза которой совпадает с опорной фазой $\pi/2$, т. е. сигнал $U_{к-я}$.

Выбор системы для цветного телевизионного вещания

В лабораториях многих стран мира на протяжении нескольких десятилетий велись упорные поиски системы цветного телевидения, которая наиболее полно удовлетворяла бы требованиям совместимого телевизионного вещания. Учитывая возросшие возможности обмена телевизионными программами между странами, были сделаны попытки или принять единую для всего мира систему цветного телевидения, или хотя бы выбрать для внедрения минимальное их число. Из рассмотренных систем НИИР, СЕКАМ, ПАЛ, НТСЦ в идеальных условиях передачи дают достаточно высокое качество воспроизведения цветного изображения. Искажения, обусловленные непосредственно принципами работы систем, не являются значительными и мало заметны. Однако в реальных условиях качество цветного изображения у массового зрителя из-за искажений в тракте передачи телевизионного сигнала и неточности настройки аппаратуры оказывается неодинаковым для различных систем цветного телевидения. Вот почему при выборе системы в СССР и за рубежом всесторонне изучались основные источники искажений сигнала в тракте передачи и их последствия.

В Советском Союзе теоретическому и экспериментальному исследованию подвергались различные варианты систем цветного телевидения. В 1963—1965 гг. у нас были проведены сравнительные испытания систем цвет-

ного телевидения. Эти испытания включали международные трансляции, опытные эфирные передачи, демонстрации и т. п. Советские специалисты после тщательного сравнения технических и экономических показателей систем высказались за внедрение в СССР системы СЕКАМ. В 1965 г. было принято соглашение между СССР и Францией о совместной разработке системы цветного телевидения на базе системы СЕКАМ. После ряда нововведений совместная советско-французская система цветного телевидения, 1 октября 1967 г. получившая название СЕКАМ-IIIБ, была введена в эксплуатацию одновременно в Советском Союзе и Франции. Кроме СССР, система СЕКАМ* принята для вещания в ГДР, Чехословакии, Болгарии, Венгрии, ряде стран Северной Африки.

Выше в упрощенном виде были показаны основные принципы работы ряда цветных телевизионных систем. Теперь рассмотрим подробнее принятую для вещания в нашей стране систему цветного телевидения и составляющие ее элементы.

---

* В настоящее время эта система официально называется СЕКАМ, без индекса IIIБ.

Глава 4

ПЕРЕДАЮЩАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Телевизионное вещание осуществляется передачей телевизионных программ по радио через сеть телевизионных

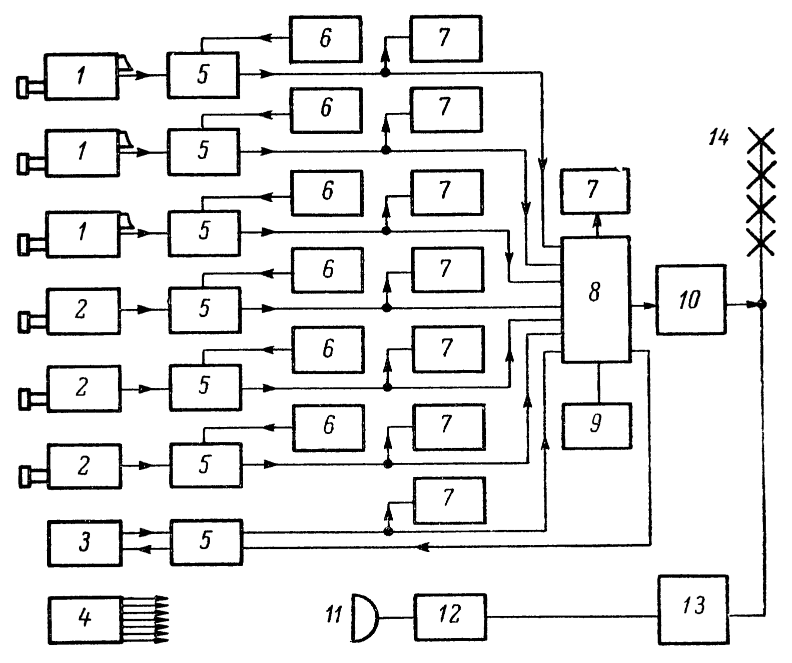


Рис. 28. Блок-схема аппаратно-студийного комплекса телецентра и радиопередатчика.

1 — студийные камеры; *2* — кинопроекторы; *3* — видеомагнитофон; *4* — синхрогенератор; *5* — блоки камерных каналов; *6* — генераторы компенсирующих сигналов; *7* — видеоконтрольные устройства; *8* — линейный усилитель; *9* — панель управления; *10* — радиопередатчик; *11* — микрофон; *12* — усилитель колебаний низкой частоты; *13* — радиопередатчик; *14* — антенная система.

центров. Основными элементами телецентра являются: студии, аппаратные, радиопередатчики, передвижные телевизионные станций, аппаратура связи с наземными и космическими радиорелейными станциями (рис. 28).

Передающая камера

В состав передающей камеры входит: объектив, цветоделительная система, разделяющая световой поток от объекта на три составляющие; оптическая система (если она необходима), образующая оптические изображения в трех основных цветах на светочувствительных поверхностях фотоэлектрических преобразователей; фотоэлектрические преобразователи, преобразующие световую энергию цветоделенных изображений в электрические сигналы; усилители сигналов изображения; генераторы электрических колебаний для электронной развертки в фотоэлектрических преобразователях; устройства автоматической регулировки режима работы камеры; источники питания; электронный видоискатель для контроля оптической фокусировки и кадрирования изображения и другие устройства.

Цветоделительные и оптические системы. Оптическая система в телевизионной камере представляет собой линзовый объектив, зеркальный или зеркально-линзовый оптический прибор.

Объектив обычно состоит из нескольких оптических линз. Линза — это кусок прозрачного вещества, ограниченный с двух сторон в большинстве случаев сферическими поверхностями (одна из них может быть плоской). Форма поверхности может быть также цилиндрической, параболической и т. д. Если середина линзы толще, чем ее края (рис. 29, *а*, *б*, *в*), то она сводит проходящий через нее световой пучок в точку и называется собирательной. Если середина линзы тоньше, чем ее края (рис. 29, *г*, *д*, *е*), то линза превращает проходящий через нее пучок световых лучей в расходящийся и называется рассеивающей. Точку F на оси, в которую собирательная линза сводит лучи, параллельные ее оптической оси, называют задним главным фокусом, а плоскость, проходящую через фокус перпендикулярно главной оптической оси, — фокальной плоскостью (рис. 29, *ж*). У рассеивающей линзы фокусом является мнимая точка F пересечения геометрических продолжений расходящихся лучей (рис. 29, *з*). Простая линза дает изображение в сопряженной плоскости несколько искаженным. Поэтому обычно применяют комбинацию собирательных и рассеивающих линз, взаимно компенсирующих искажения.

Проецирующим элементом зеркальных и зеркально-линзовых приборов являются сферические и иной формы зеркала. Вогнутое зеркало собирает лучи, а выпуклое —

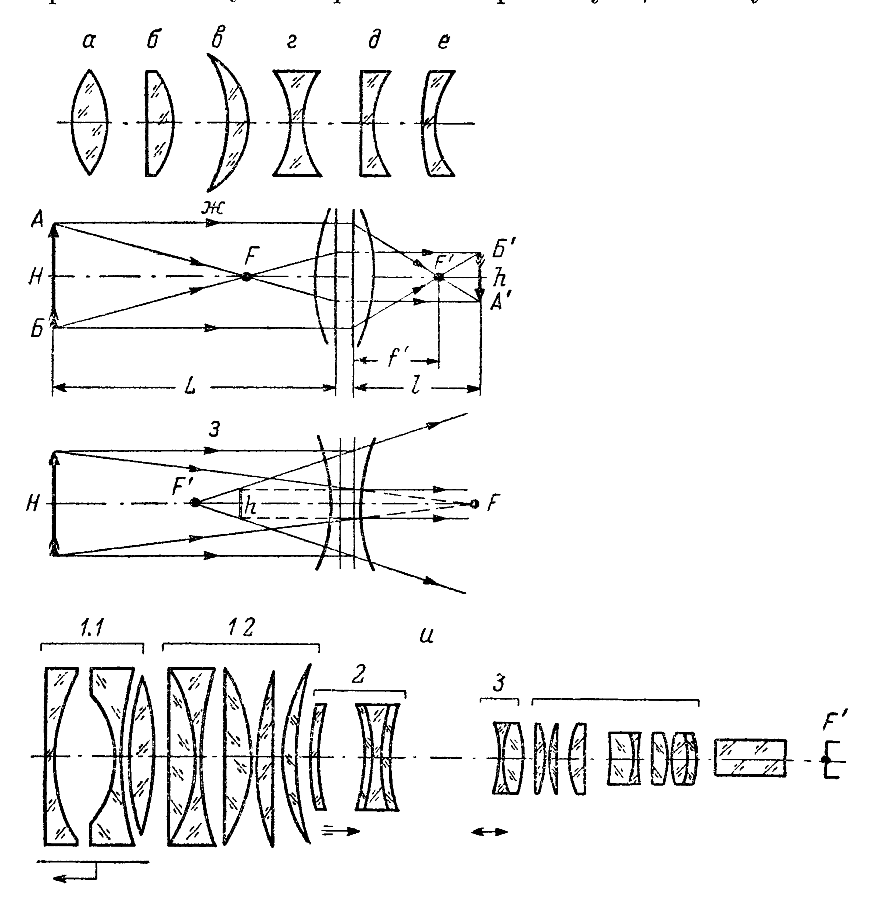


Рис. 29. Оптические системы телевизионных камер и их элементы.

а, б, в — двояковыпуклая, плоско-выпуклая и вогнуто-выпуклая собирательные линзы; *г, д, е* — двояковогнутая, плоско-вогнутая и выпукло-вогнутая рассеивающие линзы; *ж, з* — построение изображений, соответственно, собирательной и рассеивающей линз; *и* — оптическая схема телевизионного объектива с переменным фокусным расстоянием.

рассеивает их. Сферические зеркала мало искажают изображения и не требуют применения оптического стекла. Для коррекции сферических аберраций в зеркально-линзовых приборах применяют специальные корректирующие линзы, что усложняет объективы и ограничивает их применение.

Изображения удаленных предметов в крупном масштабе получают длиннофокусными объективами. Однако с увеличением фокусного расстояния сильно возрастает длина объектива. Для уменьшения ее применяются зеркально-линзовые оптические системы.

Все более широко используются объективы с переменным фокусным расстоянием, в которых можно плавно менять фокусное расстояние и, соответственно, масштаб изображения. Особенностью этих оптических систем является сохранение постоянного расстояния между предметом и изображением. Для этого при изменении масштаба изображения необходимо обеспечить независимое перемещение по крайней мере двух компонентов оптической системы, причем в результате перемещения эти компоненты должны принимать различное положение при разных масштабах изображения. Применение трех подвижных элементов обеспечивает лучшее управление коррекцией искажений во всем диапазоне фокусных расстояний.

На рис. 29, *и* приведена оптическая схема вариообъектива, состоящего из 22 линз, сгруппированных в четырех основных компонентах. Между двумя компонентами *1* и *4* по оси перемещаются два компонента *2* и *3* с целью обеспечения непрерывного изменения фокусного расстояния. Фокусировка на близко расположенные объекты осуществляется смещением компонента *1*, состоящего из двух подгрупп *1.1* и *1.2*. Диапазон изменения фокусного расстояния здесь 18—200 мм, т. е. примерно 10$^{\times}$.

В настоящее время имеются телевизионные вариообъективы с изменением фокусных расстояний в 6, 10, 15, 20 и 30$^{\times}$. Уже есть сообщения, что разработаны 40$^{\times}$ объективы.

Цветоделение изображений в передающих камерах производится при помощи цветных светофильтров и цветоизбирательных зеркал или цветоделительных призм.

Цветной светофильтр представляет собой стеклянную цветную пластину, либо тонкий желатиновый слой, помещенный между прозрачными пластинами, либо пластину из цветной пластмассы. Недостатком светофильтров является то, что они поглощают световые лучи не только в ограничиваемой части спектра, но и в полосе пропускания. Паразитное поглощение световой энергии в материале светофильтра составляет 80—90% излучения.

Более эффективными являются зеркала, отражение и пропускание которых возникает в результате интерференции света в тонких пленках. Такое зеркало представляет собой стеклянную пластинку с нанесенными на нее тончайшими пленками диэлектрика (рис. 30, *а*). Число слоев, их толщины и показатели преломления определяют спектральные характеристики отражения и пропускания зеркала. Обычно число этих слоев не превышает семи, но в отдельных случаях достигает двадцати. Толщина каждого слоя равна четверти соответственно выбранной длины волны. Длины волн для отдельных слоев выбираются с таким расчетом, чтобы их совокупность перекрывала некоторый диапазон света. В этом диапазоне падающий на зеркало свет отражается практически

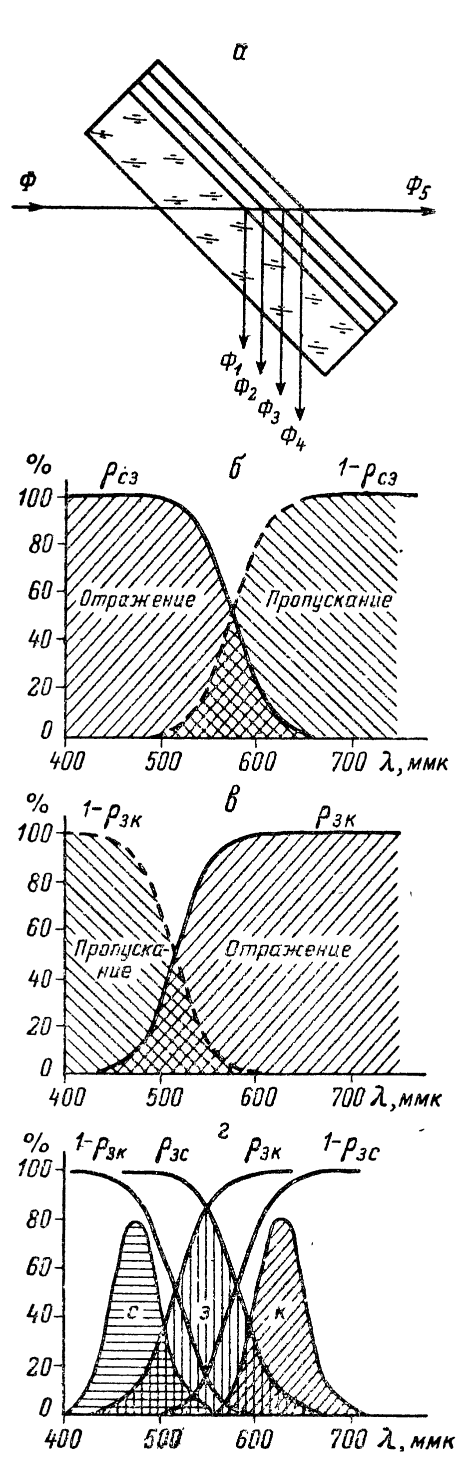


Рис. 30. Схема зеркала с многослойной пленкой (*а*) и спектральные характеристики интерференционных зеркал (*б*, *в*, *г*).

б — отражение зеркалом синих и зеленых лучей $\rho_{сз}$ и прозрачность этого зеркала $1-\rho_{сз}$; *в* — отражение зеркалом зеленых и красных лучей $\rho_{зк}$ и прозрачность зеркала $1-\rho_{зк}$; *г* — характеристика зеркал, расположенных на пути световых лучей под углом 45°.

полностью. В остальных участках спектра свет проходит через зеркало почти без потерь. Спектральные характеристики цветоизбирательных зеркал, применяемых для цветоделения изображений, показаны на рис. 30, *б*. Потери пропускаемого света у них не превышают 5%, а отра-

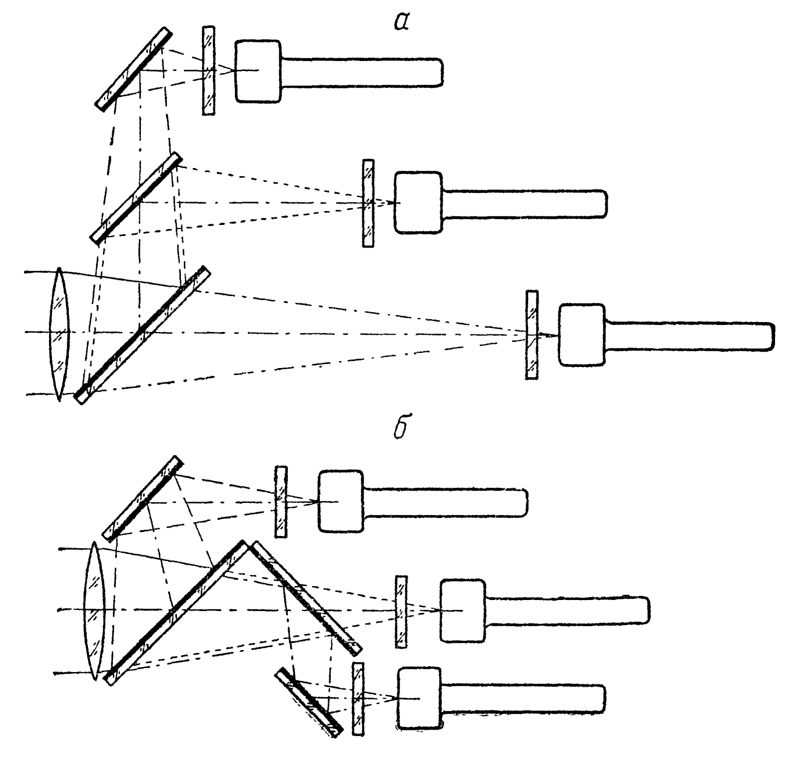


Рис. 31. Варианты цветоделительных систем трехтрубочных камер.

жаемого — составляют 15%. Эти зеркала температуроустойчивы и не выцветают со временем.

На рис. 31 приведены варианты цветоделительных систем трехтрубочных камер. Если одни цветоизбирательные зеркала не могут обеспечить требуемые спектральные характеристики, то на пути цветоделенных световых потоков могут устанавливаться соответственно подобранные корректирующие светофильтры. Практически оптические и цветоделительные системы цветовых камер оказываются несколько более сложными, нежели показанные на рис. 31.

Ф о т о э л е к т р и ч е с к и е п р е о б р а з о в а т е л и. Для преобразования энергии света в электрические сигналы используются различные виды фотоэлектрических преобразователей.

Фотоэлектронный умножитель. Устройство прибора основано на использовании явления вторичной электронной эмиссии для многократного усиления фототока внутри самого вакуумного прибора. Первый фотоэлектронный умножитель был создан советским ученым Л. А. Кубецким в 1933 г.

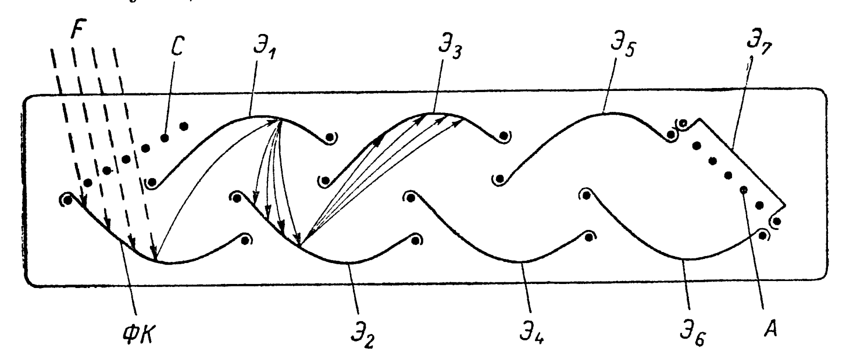
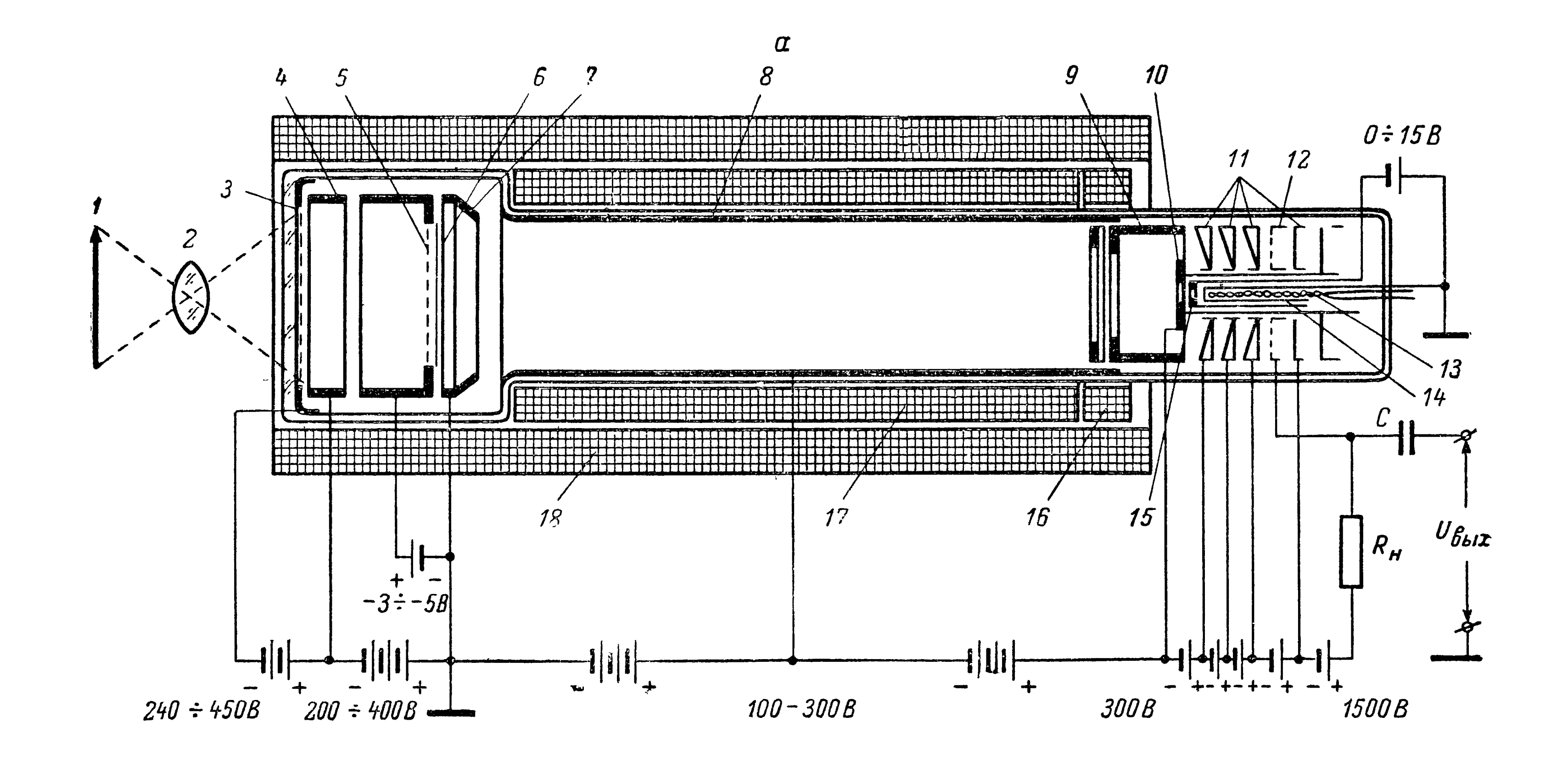


Рис. 32. Схема фотоэлектронного умножителя.

ФК — фотокатод; $Э_1$, $Э_2$, . . ., $Э_7$ — эмиттеры; А — анод; С — сетка; **F** — световой пучок.

Один из современных фотоэлектронных умножителей (рис. 32) состоит из ряда электродов с обработанной цезием поверхностью. Первый из них служит фотокатодом, а последний — анодом. Число эмиттеров, располагаемых между фотокатодом и анодом, у различных приборов различно (до 16). Эмиттеры подключаются к потенциометру источника высокого напряжения так, что величина потенциала их увеличивается на одинаковую величину с увеличением порядкового номера электродов, начиная от фотокатода. С поверхности фотокатода под действием падающего на него света испускаются электроны, которые ускоряются электрическим полем и бомбардируют первый эмиттер, выбивая из его поверхности электроны в количестве, большем числа ударившихся электронов. Такой эффект достигается благодаря определенному выбору материала и соответствующей обработке поверхности эмиттера. Вышедшие из первого эмиттера вторичные электроны попадают на второй эмиттер, находящийся под



а
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
0 ÷ 15 В
C
$R_н$
$U_{вых}$
−3 ÷ −5 В
240 ÷ 450 В
200 ÷ 400 В
100 − 300 В
300 В
1500 В

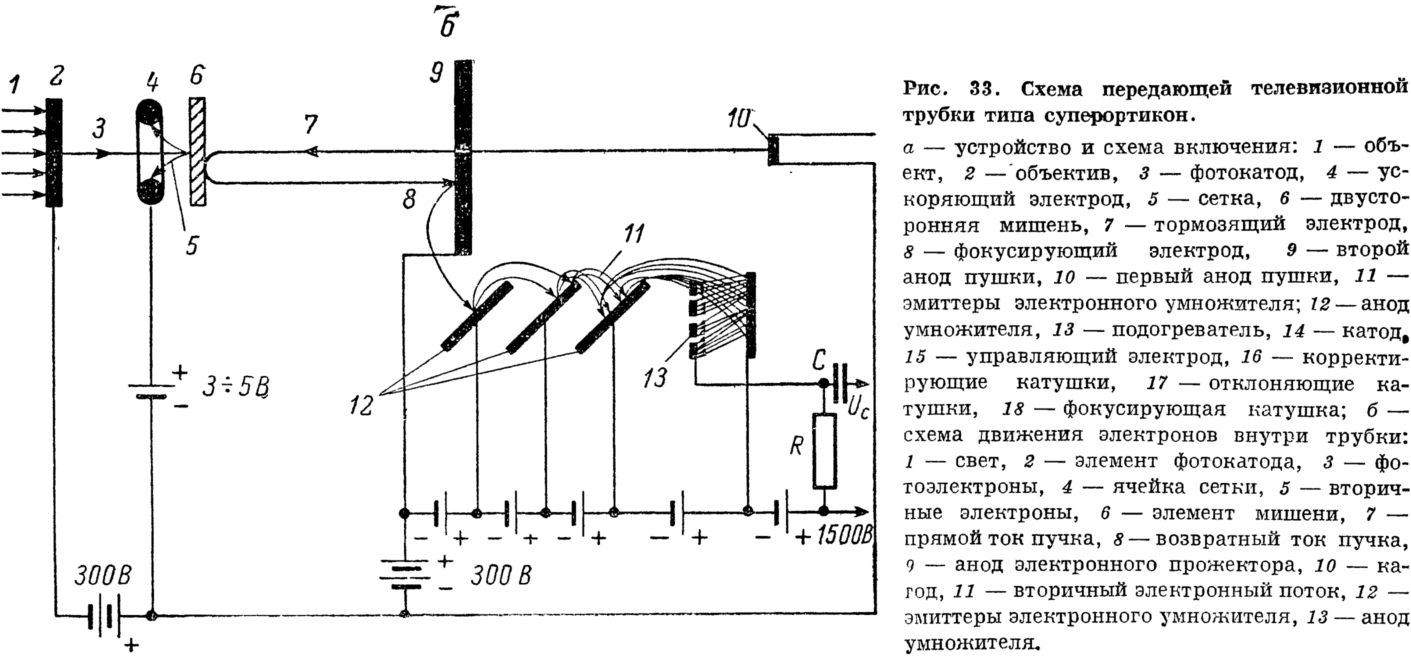


Рис. 33. Схема передающей телевизионной трубки типа суперортикон.

а — устройство и схема включения: *1* — объект, *2* — объектив, *3* — фотокатод, *4* — ускоряющий электрод, *5* — сетка, *6* — двусторонняя мишень, *7* — тормозящий электрод, *8* — фокусирующий электрод, *9* — второй анод пушки, *10* — первый анод пушки, *11* — эмиттеры электронного умножителя; *12* — анод умножителя, *13* — подогреватель, *14* — катод, *15* — управляющий электрод, *16* — корректирующие катушки, *17* — отклоняющие катушки, *18* — фокусирующая катушка; *б* — схема движения электронов внутри трубки: *1* — свет, *2* — элемент фотокатода, *3* — фотоэлектроны, *4* — ячейка сетки, *5* — вторичные электроны, *6* — элемент мишени, *7* — прямой ток пучка, *8* — возвратный ток пучка, *9* — анод электронного прожектора, *10* — катод, *11* — вторичный электронный поток, *12* — эмиттеры электронного умножителя, *13* — анод умножителя.

большим относительно катода потенциалом, и выбивают еще большее число вторичных электронов. На пути от фотокатода к аноду электронный ток непрерывно возрастает, и в цепи анода протекает ток, значительно превосходящий фототок, полученный с фотокатода. Практически удается достигать усиления фототока внутри прибора от тысяч до миллиона раз.

С помощью фотоэлектронных умножителей усилить сравнительно мощные сигналы невозможно. Поэтому применяют комбинированное усиление: слабые фототоки усиливают в фотоэлектронном умножителе, а дальнейшее усиление сигнала изображения происходит в ламповом или транзисторном усилителе.

Суперортикон. В передней части трубки (рис. 33, *а*) большого диаметра (76 мм) создается и переносится электронное изображение, а в задней части трубки меньшего диаметра (52 мм) производится развертка электронного пучка и усиление сигнала умножителем вторичных электронов. Трубка помещается внутри длинной фокусирующей катушки, создающей равномерное магнитное поле, силовые линии которого направлены параллельно ее оси. Вблизи от краев фотокатода установлен ускоряющий электрод, поле которого переносит фотоэлектроны к мишени. Накапливаются заряды мишенью. Мишень — это тонкая полупроводниковая пленка (толщиной 3—5 мкм), закрепленная на кольце вместе с мелкоструктурной сеткой, расположенной перед мишенью со стороны фотокатода на расстоянии 30—60 мкм. Изготовленная электролитическим способом сетка (толщиной около 10 мкм) имеет от 400 до 900 отверстий на 1 мм^2 и обладает оптической прозрачностью около 0.6—0.7. Прошедшие сквозь сетку электроны выбивают из мишени вторичные электроны, и на мишени образуется потенциальный рельеф, соответствующий распределению освещенности на фотокатоде. Вторичные электроны не возвращаются обратно на мишень, а улавливаются сеткой, к которой приложено положительное напряжение (3—5 В) относительно катода электронной пушки. На левой стороне мишени (см. рис. 33, *а*) создается глубокий потенциальный рельеф с бо́льшим потенциалом на участках, соответствующих ярким элементам изображения. Далее положительные заряды с левой стороны мишени токами смещения переносятся на ее правую сторону.

Потенциальный рельеф преобразуется в электрические сигналы пучком медленных электронов, т. е. электронов, обусловливающих коэффициент вторичной электронной эмиссии, меньший единицы. Благодаря этому мишень под воздействием электронного пучка приобретает потенциал катода электронной пушки. Электронная пушка состоит из подогревного оксидного катода, управляющего электрода и анода. Электроны, выходящие из пушки через узкое отверстие (диаметром 50 мкм) в диафрагме, попадают в поле фокусирующей катушки, которым и направляются к плоскости мишени. Отклоняется пучок магнитными полями отклоняющих катушек. К мишени электроны подходят с малыми скоростями, так как по пути движения их скорость постепенно замедляется вторым и третьим анодами, а также специальным тормозящим электродом.

Если на мишени потенциальный рельеф отсутствует, то все электроны из развертывающего пучка притягиваются к мишени, при этом каждый раз потенциальный рельеф ее нейтрализуется («стирается»). Число электронов, отбираемых из пучка для нейтрализации, зависит от потенциального рельефа. Следовательно, чем больше положительный потенциал соответствующего участка мишени, тем меньшее число электронов будет в отраженной части пучка.

Отраженные электроны движутся к аноду (рис. 33, *б*), ускоряясь при возвращении тем полем, которое тормозило падающий пучок. Подавляющее число электронов попадает на переднюю поверхность диска анода электронной пушки и выбивает из него вторичные электроны. Этот анод является первым каскадом умножителя вторичных электронов. Вторичные электроны попадают в ускоряющее поле, увлекающее их на второй каскад, и т. д. Вторично-электронный умножитель имеет либо пять, либо семь каскадов. Общий коэффициент усиления пятикаскадного умножителя — порядка 1000, а семикаскадного — около 10 000. На выходе умножителя получаются токи порядка десятков микроампер, модулированные видеосигналом величиной 5—10 мкА.

Электронный пучок направляется не к одной и той же точке мишени, а совершает движение по определенному закону по ее поверхности и за время передачи кадра успевает обежать все точки мишени. Так как заряд каждой

точки мишени зависит от яркости соответствующего участка изображения, то плотность пучка все время меняется, следуя за светлыми и темными местами изображения. Соответственно изменяется и величина напряжения сигнала на нагрузочном резисторе электронного умножителя. Чувствительность суперортикона так велика, что позволяет работать при освещенности фотокатода, измеряемой долями люкса. Однако передающие камеры с применением суперортиконов оказываются громоздкими и имеют большой вес из-за значительных габаритов и веса трубки и ее фокусирующе-отклоняющих систем. Кроме того, наличие большого числа электродов, определяющих режим работы трубки, не позволяет добиться большей стабильности работы суперортикона, чем в других трубках.

Видикон. Передающая телевизионная трубка типа видикон представляет собой цилиндрический стеклянный баллон (рис. 34) с вмонтированным в него фотопроводящим слоем с сигнальной пластиной и пушкой, создающей коммутирующий пучок. Роль сигнальной пластины играет тончайшая пленка окиси олова, нанесенная на внутреннюю торцевую поверхность баллона. Пленка настолько тонка (2—3 мкм), что прозрачна для световых лучей. Эта пленка соединена с металлическим кольцом, сваренным с торцевой стенкой и цилиндрической частью колбы. На проводящий слой в свою очередь нанесен тонкий слой фотопроводника, материалом которого служит селен, сульфиды германия, цинка, кадмия, свинца, селениды цинка и кадмия и др.

Электронный пучок формируется пушкой, состоящей из катода, управляющего электрода и первого анода. Вдоль стенок трубки располагается длинный металлический цилиндр — второй анод (фокусирующий электрод) или же два раздельных цилиндра. Поверх трубки находится отклоняющая система и фокусирующая катушка. Анод в трубке, предназначенной для работы в режиме медленных электронов, оканчивается тонкой мелкоструктурной сеткой. При этом трубка работает следующим образом.

Изображение проецируется через прозрачную сигнальную пластину на фотопроводник, который с обратной стороны коммутируется пучком электронов. Через анодную диафрагму электроны пучка проходят со скоростью,

соответствующей разности потенциалов 300 В. До прохождения через сетку скорость электронов меняется мало. Далее электроны попадают в сильное тормозящее поле. При подходе к мишени скорость их падает до величины, определяемой потенциалом сигнальной пластины и величиной проводимости в этом участке мишени. В темноте сопротивление фотопроводника очень велико. Электрон-

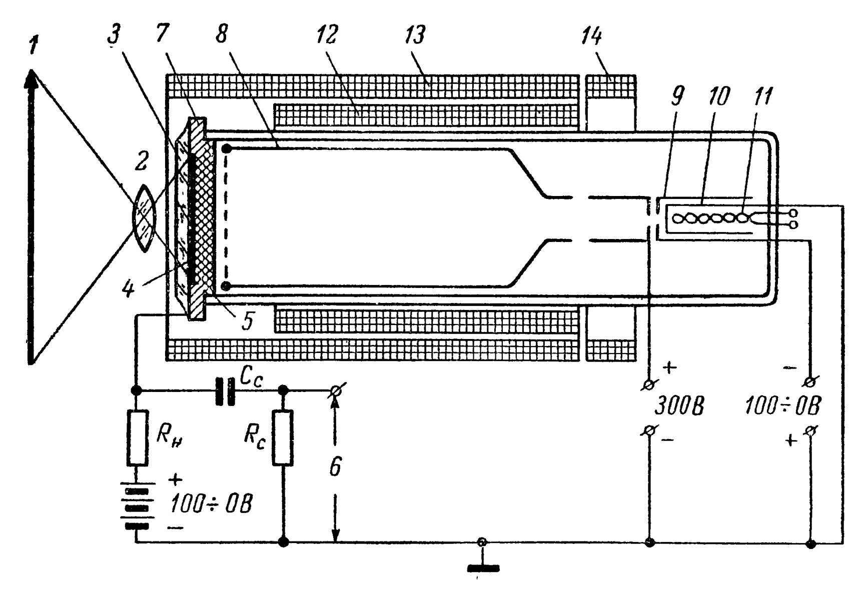


Рис. 34. Схема видикона.

1 — объект; *2* — объектив; *3* — стеклянная планшайба; *4* — фотокатод; *5* — мишень; *6* — сигнал изображения; *7* — сигнальная пластина; *8* — фокусирующий электрод; *9* — управляющий электрод, *10* — катод; *11* — подогреватель; *12* — отклоняющие катушки; *13* — фокусирующие; *14* — корректирующие.

ный пучок, проходя по мишени, оставляет на ней электроны, заряжая фотопроводник до потенциала катода пушки. Между сторонами мишени создается разность потенциалов 0—10 В. В отсутствии освещения ток, протекающий под действием этой разности потенциалов, очень мал. Поэтому к следующему приходу электронного пучка к неосвещенной части мишени разность потенциалов изменится мало и для компенсации изменения заряда потребуется малое число электронов. Иное наблюдается на освещенных участках мишени. Сопротивление их мало. Поэтому за время отсутствия электронного пучка (время развертки одного кадра изображения) напряжения на

сигнальной пластине и на коммутируемой стороне мишени успевают в большой мере сравняться друг с другом за счет быстрого разряда емкости мишени. В результате коммутируемая сторона мишени зарядится положительно. В момент коммутации электронным пучком потенциал этой стороны мишени снова приводится к потенциалу катода (нулевому потенциалу). Это происходит за счет протекания большого тока через освещенный участок мишени. Этот подзарядный ток, протекая через нагрузочный резистор, создает сигналы изображения белого поля. При проецировании на мишень оптического изображения в фотопроводнике создается рельеф проводимости, соответствующий рельефу яркости передаваемой сцены. Величины постоянных времени *RC* элементарных участков мишени будут обратно пропорциональны их освещенностям. В течение времени передачи кадра каждая из элементарных емкостей в зависимости от ее освещенности разряжается до определенной величины. В результате к концу кадра на стороне мишени, обращенной к электронному пучку, возникнет потенциальный рельеф. При развертке электронный пучок доводит поверхность всех участков мишени до одинакового потенциала, равного потенциалу катода. Но, выравнивая потенциалы, пучок оставляет на освещенных участках слоя большее количество электронов, чем на затемненных. Таким образом, токи дозаряда элементарных емкостей, возникающие при развертке, несут в себе информацию о распределении освещенностей на мишени. Поступление электронов из пучка на мишень будет вызывать появление такого же по величине тока во внешней цепи сигнальной пластины. Протекая через нагрузочный резистор, они создают напряжение видеосигнала отрицательной полярности, ибо чем выше освещенность мишени, тем больше электронов устремляется на мишень при ее коммутации пучком.

Видикон прост в производстве и эксплуатации, имеет малые габариты. Это позволяет применять с видиконами малые и короткофокусные объективы от узкопленочных камер. Передающие камеры на видиконах получаются малогабаритными и легкими. Однако трубка не свободна от недостатков. Малый размер мишени и конечные размеры развертывающего пучка ограничивают разрешающую способность трубки. Для получения изображения

с четкостью порядка 625 линий требуется увеличить площадь мишени, а следовательно, и общие габариты трубки. При передаче изображений движущихся предметов четкость трубок получается значительно более низкой из-за инерционности видикона. Инерционность генерирования сигнала изображения состоит в запаздывании изменений сигнала относительно изменений освещенности, что в цветном телевидении приводит к цветовым искажениям.

Наиболее распространены видиконы с диаметром колбы 26 мм и длиной 150 мм. Для решения задач, требующих малогабаритных передающих камер, созданы миниатюрные видиконы, имеющие диаметр колбы 13 мм и длину 75 мм. И наоборот, для получения большой разрешающей способности созданы видиконы увеличенного размера, но в цветном телевидении они не используются, так как увеличивают размеры передающих камер.

1. Электростатические видиконы. Фокусировка и отклонение электронного пучка в этих трубках осуществляются электрическими полями. При этом уменьшаются габариты передающей камеры за счет отсутствия фокусирующе-отклоняющей системы и снижается потребляемая мощность. Имеются трубки с электростатической фокусировкой и магнитным отклонением, в которых удается получить более высокую разрешающую способность, чем в трубках с электростатическим отклонением пучка.

2. Трехсигнальный видикон. Эта трубка позволяет получить на ее выходе одновременно три сигнала основных цветов. Важнейшей составной частью трубки является трехрастровая штриховая мишень, нанесенная на переднюю внутреннюю поверхность колбы трубки. Со стороны, обращенной к объекту, каждая из полупроводниковых полосок, изолированных друг от друга, покрыта светофильтром, которые в совокупности чередуются в следующей последовательности: красный—зеленый—синий—красный и т. д. От полупроводниковых полосок сделаны проводящие выводы, и элементы каждой из цветных групп соединены вместе. На цоколь трубки выведены контакты от всех трех групп. С обратной стороны мишени движется электронный пучок. Когда он находится на какой-либо из полосок, то генерируется видеосигнал, соответствующий одному из основных цветов.

Недостатками такой трубки являются: значительные потери света в полосковых светофильтрах, неполное использование фотослоя из-за секционирования мишени, наличие взаимосвязи между отдельными сигнальными цепями и трудность получения высокой разрешающей способности по горизонтали.

Плюмбикон. Эта трубка отличается от видикона тем, что вместо мишени в виде фотосопротивления здесь используют мишень фотодиодного типа сложной структуры. На внутренней поверхности стеклянной колбы создан тонкий слой прозрачного электропроводящего материала, играющий роль сигнального электрода. Слой с проводимостью типа *n* является также тонким и прозрачным. Слой, обладающий собственной (типа *i*) проводимостью, значительно толще всех остальных слоев, и в нем происходит основное поглощение падающего света. Последний слой (с проводимостью типа *p*) делается очень тонким во избежание растекания зарядов между участками мишени, имеющими разный потенциал. Слой *i* выполнен из окиси свинца.

Разрешающая способность лучших плюмбиконов приближается к разрешающей способности суперортиконов с большой поверхностью фотокатода. Мала инерционность плюмбиконов, а чувствительность их такова, что позволяет работать при освещенности мишени 1—2 люкса. Хорошо и то, что световая характеристика трубки линейна. Перечисленные достоинства трубки обусловили широкое ее применение в оборудовании цветного телевидения. Большинство современных передающих камер цветного телевидения работают на плюмбиконах с диаметром колбы 30 мм.

Типы камер. Наибольшей чувствительностью из рассмотренных передающих трубок обладает суперортикон. Удовлетворительны и другие параметры и характеристики этой трубки. Однако размеры и вес камеры с использованием трех суперортиконов являются значительными.

Меньшей чувствительностью обладают видиконы. С их помощью удается построить компактные камеры. Однако вследствие инерционности, проявляющейся особенно сильно при малых освещенностях, камеры на видиконах могут применяться для передачи изображения натурных сцен только при очень большой освещенности объекта,

Чаще всего передающие камеры на этих трубках и на фотоэлектронных умножителях используются для передачи цветных кинофильмов или диапозитивов по телевидению.

Появление плюмбиконов (трубок типа видикон), где в качестве материала светочувствительного слоя используют окись свинца, позволило создавать малогабаритные передающие камеры. В современных камерах такого типа применяются вариообъективы с ручным и дистанционным электромеханическим приводом, платы с многослойным печатным монтажом, специальные толстопленочные гибридные и интегральные схемы, цепи цифрового управления, метод уплотнения передаваемой информации, позволяющий применить облегченный трехжильный коаксиальный кабель между камерой и другими устройствами телевизионной студии. Камеры снабжены черно-белым видоискателем.

На рис. 35 приведена блок-схема телевизионной камеры, которая имеет не три, а четыре передающие трубки, причем эту камеру можно рассматривать как состоящую из двух: одной трехтрубочной камеры цветного телевидения и одной камеры черно-белого телевидения.

Выходные сигналы трехтрубочной камеры используются только для получения цветоразностных сигналов, тогда как яркостный сигнал — только от однотрубочной камеры черно-белого телевидения. На первый взгляд подобная система слишком сложна и надуманна. Однако в построении таких камер имеется большой смысл. В чем же он заключается?

В таких системах в канале яркостного сигнала могут использоваться как суперортикон, так и плюмбиконы с увеличенной площадью мишени. Эти камеры создают яркостный сигнал, позволяющий воспроизвести черно-белое изображение высокого качества. Для создания цветовой информации в этой системе используют три видикона или три плюмбикона. Поскольку разрешающая способность цветового канала должна быть по условию небольшой, то в конечном итоге оказывается, что трудности в деле обеспечения совмещения конечных изображений в четырехтрубочном варианте передающей камеры оказываются гораздо меньшими, чем в камере трехтрубочной.

Здесь используется только один объектив с переменным фокусным расстоянием. Свет, идущий от объектива, сначала расщепляется на две составляющие: 30% светового потока направляется на фотокатод передающей трубки яркостного канала, а остальные 70% — на ми-

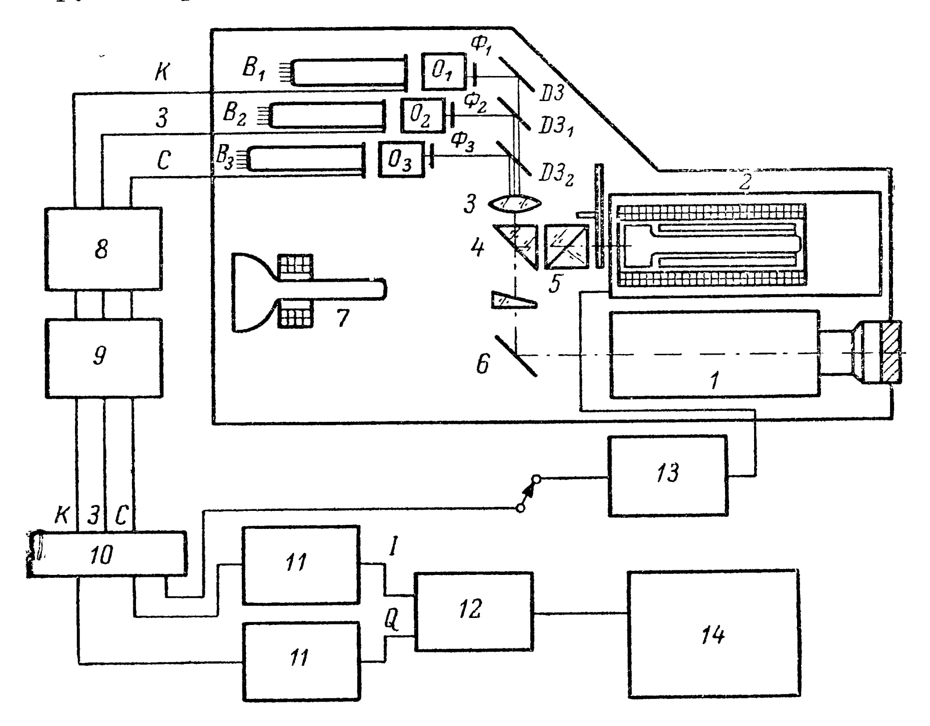


Рис. 35. Блок-схема четырехтрубочной передающей камеры.

1 — объектив; *2* — суперортикон; *3* — полевая линза; *4* — призма; *5* — призменный расщепитель; *6* — зеркало; *7* — кинескоп; *8* — регулировка; *9* — вспомогательные цепи; *10* — пересчетное устройство; *11* — узкополосные фильтры; *12* — модуляторы; *13* — видеоусилитель; *14* — цветное видеоконтрольное устройство.

шени видиконов каналов цветности при помощи системы цветоделительных призм. Однако четырехтрубочные камеры оказываются все же более громоздкими и менее чувствительными, чем трехтрубочные, и поэтому в настоящее время повсеместно перешли на трехтрубочные камеры.

В Советском Союзе производятся как четырехтрубочные камеры (КТ-116 М), так и трехтрубочные (КТ-132), не уступающие по качеству цветного телевизионного

изображения соответствующим зарубежным образцам телевизионных камер.

В 1964 г. появились двухтрубочные камеры, в которых одна передающая трубка используется для получения яркостного сигнала, предназначенного для воспроизведения изображения высокой четкости, а вторая трубка создает сигнал цветности для воспроизведения изображения цветовой подкраски низкой четкости. Перед цветовой трубкой располагается маска из 80 групп красных, зеленых, синих и черных полосок. Последние получили название «индексных полосок», а трубка в целом — «индексной» трубки. Эти индексные полоски нужны для определения момента коммутации при разделении сигналов от красной, синей и зеленой полосок вдоль строки. Выходной сигнал этой трубки последовательно во времени содержит информацию о красной, зеленой и синей составляющих изображения. После соответствующих преобразований на выходе также получаются обычные сигналы яркости и цветности.

С целью построения однотрубочной камеры было увеличено число групп цветных полосок и исключены черные полоски. Индексный сигнал, который шел от черной полоски, в новой трубке, названной триниконом, генерируется электронным путем одновременно с получением цветовых сигналов. Габариты опытных образцов таких камер составляют всего 35×17×17 см, а вес их — около 6—7 кг.

Основными недостатками камер со штриховыми трубками являются повышенные требования к линейности разверток, так как изменение скорости развертывающего луча приводит к цветовым искажениям. Практически оказалось невозможно получить равномерную поверхность штриховой мишени, что также приводит к цветовым и другим искажениям. Все это не дает возможности широко использовать камеры со штриховыми трубками в цветном телевизионном вещании и ограничивает сферу их применения только специальными промышленными областями.

Студийная камера устанавливается на подвижном штативе или на кинооператорской тележке. Штатив имеет обычно телескопический подъемник, который управляется поворотом рукоятки камеры. Колеса штатива имеют общий поворотный механизм, позволяющий изменять на-

правление движения камеры по студии. Телевизионная камера крепится к панорамной головке штатива, которая балансирует камеру и обеспечивает поворот и наклон камеры. При наличии турели с объективами в камере имеется рукоятка смены объективов, в случае использования вариообъектива — ручка изменения масштаба изображения. В камере расположены также рукоятки привода диафрагмы и оптической фокусировки. Обычно регулировка режима передающей трубки, схемы разверток и электрических фокусировок производится из аппаратной, а в самой камере для удобства эксплуатации имеются лишь элементы подстройки режима работы.

Панель управления камерой, главное контрольное устройство и блок камерного канала обычно монтируются в стойках, удаленных от камеры. В блоке камерного канала компенсируют искажения видеосигнала, обусловленные конечной длиной камерного кабеля, вводят в сигнал гасящие импульсы, фиксируют уровень черного, производят линейное ограничение, гамма-коррекцию и усиление видеосигналов. Сигналы с выхода блока камерного канала при уровне сигнала, равном обычно 1 В, подаются на кодирующее устройство цветного телевидения.

В аппаратуре, предназначенной для передачи цветных кинофильмов и изображений с цветных диапозитивов, используются системы с так называемым бегущим пятном, с фотоэлектронными умножителями либо системы на видиконах.

В настоящее время наилучшее качество изображения получается при использовании телекинодатчиков с разверткой бегущим пятном. В этом случае кинопленка движется в фильмовом канале непрерывно с постоянной скоростью. Для считывания кадра изображения на пленке дважды за период телевизионного кадра (ввиду применения в телевизионном вещании чересстрочного разложения) развертывающий растр удваивается с помощью двух объективов и двух призм (рис. 36). При этом растр на экране проекционной трубки имеет вдвое сокращенные размеры по вертикали. За время считывания первого полукадра обтюратор закрывает нижний объектив. Второй телевизионный полукадр считывается за время прохождения кадра фильма в нижней половине кадрового окна; при этом обтюратор перекрывает свет от верхнего объектива. Свет от бегущего пятна проекционной трубки,

прошедший через кинопленку, цветоделительной системой распределяется на три составляющие: красную, зе-

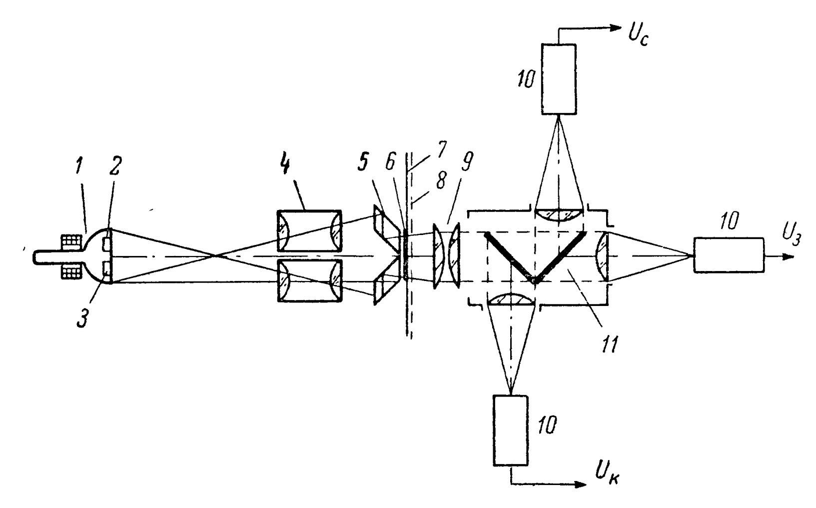


Рис. 36. Оптическая схема одной из систем телекинопроекторов с «бегущим пятном».

1 — проекционная трубка бегущего светового пятна; *2* — растр первого полукадра; *3* — растр второго полукадра; *4* — объективы; *5* — призмы; *6* — фильмовый канал; *7* — кинопленка; *8* — обтюратор; *9* — конденсор; *10* — фотоэлектронные умножители красного, синего и зеленого каналов; *11* — цветоделительная система.

леную и синюю. С выходов фотоэлектронных умножителей сигналы подаются на усилители, а затем на кодирующее устройство.

Телевизионная студия

Телевизионная студия представляет собой помещение, хорошо изолированное от внешних шумов и вибраций и оборудованное техническими средствами для создания телевизионных программ. В больших телевизионных центрах обычно имеется несколько студий. Так, например, в крупнейшем в Европе Общесоюзном телевизионном центре имени 50-летия Октября в Москве насчитывается более 20 студий общей площадью около 10 000 м². Из этого числа две студии имеют площадь по 1000 м² каждая.

Студии оснащены мощным и разнообразным осветительным оборудованием, которое выделяет много тепла. Поэтому студии оборудуются установками кондициони-

рования воздуха. Многочисленные микрофоны прикрепляют к наклонным штангам или устанавливают на специальных подвесках. Штанги монтируются на передвижных штативах, бесшумно перемещаемых по студии. Микрофоны располагают вблизи от исполнителей, но не в поле зрения объектива камеры.

Обслуживающий персонал, находящийся в студии, снабжен головными телефонами, по которым передаются указания режиссера, звукооператора и технического персонала, находящихся в аппаратной. В студии имеются громкоговорящие установки для подачи общих распоряжений перед передачей или во время репетиций. Студийная телевизионная камера связывается с аппаратной гибким многожильным кабелем.

Обычно одновременно включено несколько камер. Одна из камер дает изображение крупным планом, а вторая — средним или мелким. Камеры могут давать изображения и в одном масштабе, но с различных точек наблюдения, а также использоваться для самых разнообразных художественных эффектов. По указанию режиссера используется одно из изображений, либо комбинация нескольких изображений.

Студийная аппаратная

Цветовые сигналы изображения и сигналы звукового сопровождения по кабелям поступают из студии в аппаратную, где находится оборудование для усиления и окончательного формирования телевизионных сигналов, посылаемых далее к модулятору радиопередатчика. В аппаратной осуществляется контроль за качеством передаваемых изображений, а также оперативное управление процессом передачи. Помещение аппаратной, как правило, примыкает к студии и располагается на уровне второго этажа, чтобы через широкое звуконепроницаемое окно можно было наблюдать за происходящим в студии.

Полный телевизионный сигнал образуется путем смешивания сигналов изображения и различных вспомогательных импульсов, создаваемых синхрогенератором. Частоты отдельных генераторов, создающих вспомогательные импульсы, должны быть согласованы между собой. Поэтому синхрогенераторы строятся по схеме, в которой все посылаемые для передатчика и приемников сигналы

формируются из одной непрерывной последовательности прямоугольных импульсов, создаваемых основным задающим генератором. Частота задающего генератора выбирается равной двойной частоте строчной развертки (31 250 импульсов в 1 с). С помощью делителя частоты выделяют каждый второй импульс и получают сигналы с частотой строчной развертки. При помощи другого делителя выделяют каждый 625-й импульс и тем самым получают серию импульсов с частотой полей.

Видеосигналы основных цветов с выходов предварительных усилителей камеры, расположенной на расстоянии нескольких десятков метров от аппаратной, подводятся к блокам камерного канала, назначение которого состоит в увеличении уровня сигнала от малых долей вольта до 1 В. В нем также смешивают видеосигналы с гасящими импульсами, создаваемыми синхрогенератором.

Кодирующее устройство системы СЕКАМ

Кодирующее устройство (рис. 37) служит для формирования полного сигнала из сигналов трех основных цветов. Еще в блоке камерного канала *2* каждый из сигналов основных цветов $U_к$, $U_з$ и $U_с$ пропускают через усилитель с нелинейными амплитудными характеристиками (так называемые гамма-корректоры), в результате чего получают сигналы вида $U_к^{1/\gamma_к} = U'_к$, $U_з^{1/\gamma_з} = U'_з$ и $U_с^{1/\gamma_с} = U'_с$. Это делают с учетом того, что нелинейности характеристик передачи элементов системы цветного телевидения, главным образом кинескопов телевизоров, вызовут компенсацию предварительных нелинейных искажений, производимых в блоке камерного канала. Поэтому на кодирующее устройство уже подаются сигналы $U'_к$, $U'_з$ и $U'_с$, которые и подводятся к пересчетному устройству *3* (*1*). Здесь создается яркостный сигнал $U'_я$. В конечном счете для передачи белого поля, которое в цветном телевидении имеет голубоватый оттенок, соответствующий опорному цвету типа С, с цветовыми координатами на графике МКО (рис. 7) $x=0.281$, $y=0.311$. Яркостный сигнал должен быть равен:

$$U'_я = 0.30U'_к + 0.59U'_з + 0.11U'_с.$$

Пересчетная схема представляет собой пассивный делитель напряжения, составленный из резисторов, с тремя

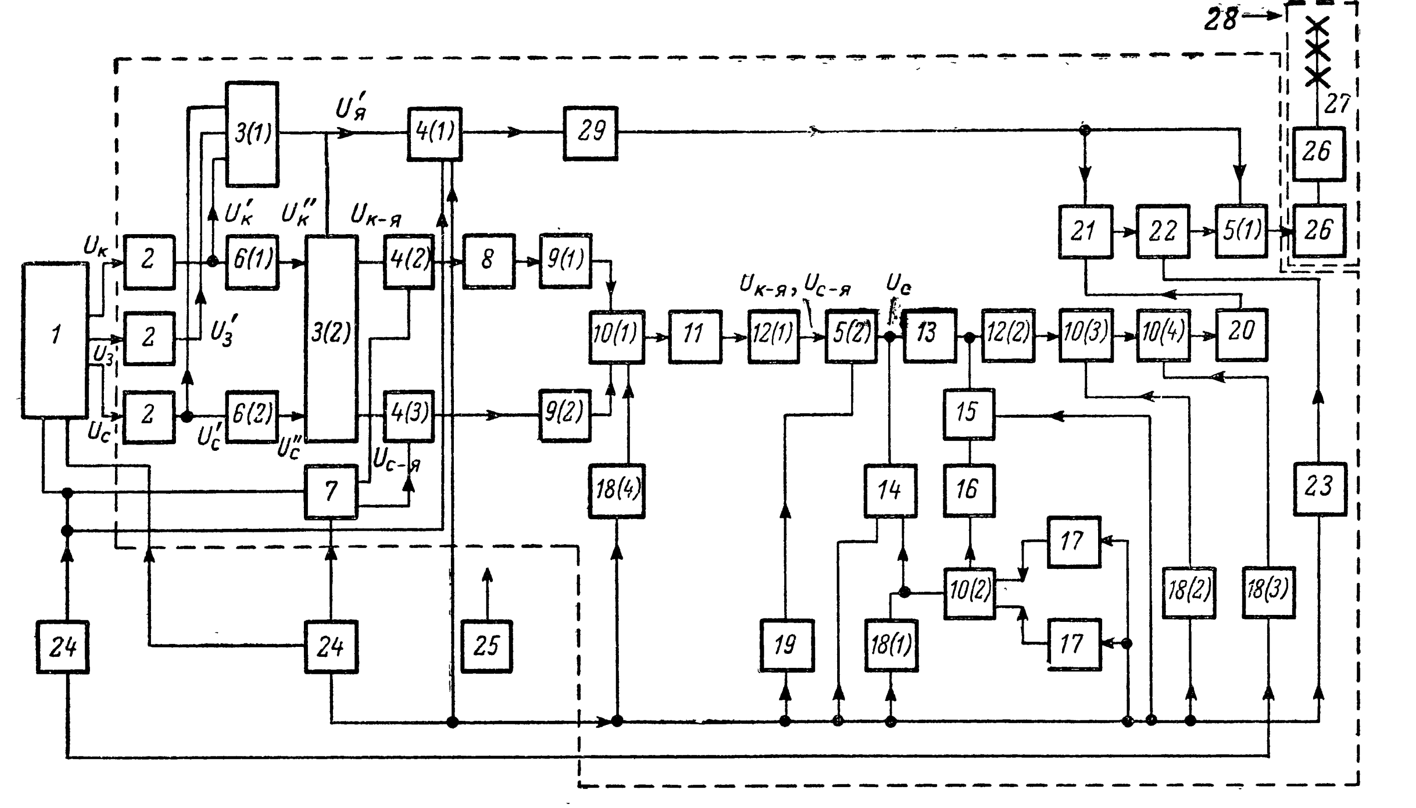


Рис. 37. Блок-схема передающей части системы цветного телевидения СЕКАМ с детализацией кодирующего устройства.

или четырьмя (в зависимости от типа камеры) входами и общей выходной нагрузкой. В устройстве *4* (*1*) в яркостный сигнал вводятся сигналы синхронизации. Полученный сигнал $U'_я$ подается на линию задержки яркостного сигнала *29*, а затем на суммирующее устройство *5* (*1*). Применение линии задержки *29* вызвано следующими обстоятельствами. Для уменьшения взаимодействия сигналов и заметности цветовых поднесущих на экранах телевизоров сигнал цветности помещен вблизи верхней граничной полосы частот яркостного сигнала. Кроме того, цветовая информация передается в сравнительно узкой полосе частот. Наконец, число каскадов в канале цветности значительно больше, чем в яркостном канале. Все это приводит к запаздыванию прихода сигнала цветности к кинескопу по отношению к яркостному сигналу и, как следствие, к необходимости выравнивания времени прохождения этих сигналов в телевизоре. Линия задержки представляет собой катушку индуктивности, созданную на диэлектрическом сердечнике.

Сигналы $U'_я$, $U'_к$ и $U'_с$ используются для формирования цветоразностных сигналов во втором пересчетном устройстве *3* (*2*). Однако перед этим частотные спектры сигналов $U'_к$ и $U'_с$ ограничивают электрическими фильтрами, пропускающими только низкочастотные составляющие этих сигналов. Обозначим ограниченные по спектру цветовые сигналы через $U''_к$ и $U''_с$. Для получения цветоразностных сигналов в пересчетном устройстве *3* (*2*) полярность сигнала $U'_я$ изменяется при помощи фазовращателя и сигнал $-U'_я$ складывается с сигналами $U''_к$ и $U''_с$ в соответствующих каналах устройства *3* (*2*).

Рис. 37 (*продолжение*).

1 — передающая камера; *2* — гамма-корректоры; *3* — пересчетное устройство; *4* — смеситель; *5* — суммирующее устройство; *6* — узкополосные фильтры; *7* — генератор сигналов цветовой синхронизации; *8* — фазоинвертор; *9* — цепи низкочастотной предварительной коррекции; *10* — коммутатор; *11* — электрический фильтр; *12* — ограничитель; *13* — блок создания и модуляции колебаний поднесущей; *14* — фиксирующая цепь; *15* — ключевой каскад; *16* — фазовый детектор; *17* — генераторы эталонных колебаний; *18* — спусковое устройство; *19* — блокинг-генератор; *20* — цепь высокочастотной предварительной коррекции; *21* — вспомогательный модулятор; *22* — цепь подавления сигнала цветности на время обратного хода по строке; *23* — генератор импульсов гашения; *24* — генераторы синхронизирующих и гасящих импульсов; *25* — источник электропитания; *26* — модулятор и усилитель мощности радиопередатчика; *27* — передающая антенна; *28* — радиопередатчик; *29* — линия задержки.

В смесителях *4* (*2*) и *4* (*3*) к цветоразностным сигналам добавляются сигналы цветовой синхронизации (опознавания строк), формируемые в блоке *7*. Эти сигналы (рис. 38, *а*) представляют собой специальные импульсы, передаваемые в период обратного хода по кадру. Они имеют вид серии из девяти трапецеидальных пакетов колебаний цветовой поднесущей, длительностью в активную часть строки каждый, и вводятся в оба цветоразностных сигнала. Назначение этих сигналов — синхронизация коммутаторов передающего и приемного устройств. Сигналы цветовой синхронизации передаются в течение девяти строчных интервалов обратного хода кадра — на строках *7—15* первого поля (рис. 38, *б*) и на строках *320—328* второго поля (рис. 38, *в*).

Фазоинвертор *8* (см. рис. 37) служит для изменения полярности сигнала $U_{к-я}$. Благодаря этому для модуляции колебаний поднесущей используется знакопеременный сигнал цветовой синхронизации — отрицательный в строках синего и положительный в строках красного. В цепях низкочастотной предварительной коррекции *9* производят относительное увеличение амплитуд колебаний верхних частот цветоразностных сигналов (до трех раз), что делается с целью ослабления влияния шумов при передаче сигнала. Коммутатор *10* (*1*) чередует сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$ от строки к строке, а фильтр *11* уменьшает паразитные всплески напряжения, возникающие в моменты коммутации.

Из рис. 39, *г* видно, что в результате низкочастотной предварительной коррекции возникают выбросы напряжения на фронтах цветоразностных сигналов. Так как значительное расширение динамического диапазона канала связи недопустимо, то эти выбросы срезаются ограничителем *12* (*1*) на уровнях, показанных на рис. 39, *в*. Затем следует суммирующее устройство *5* (*2*).

В блоке *13* (см. рис. 37) генерируются и модулируются по частоте колебания поднесущей. Фиксирующая цепь *14* приводит нулевой уровень сигнала в периоды обратного хода пучков к определенному потенциалу, соответствующему частоте покоя генератора колебаний поднесущей. Средняя частота генератора колебаний поднесущей стабилизируется автоподстройкой по частоте эталонного кварцевого генератора. Для этого сигнал цветности с выхода генератора колебаний поднесущей ответвляется на

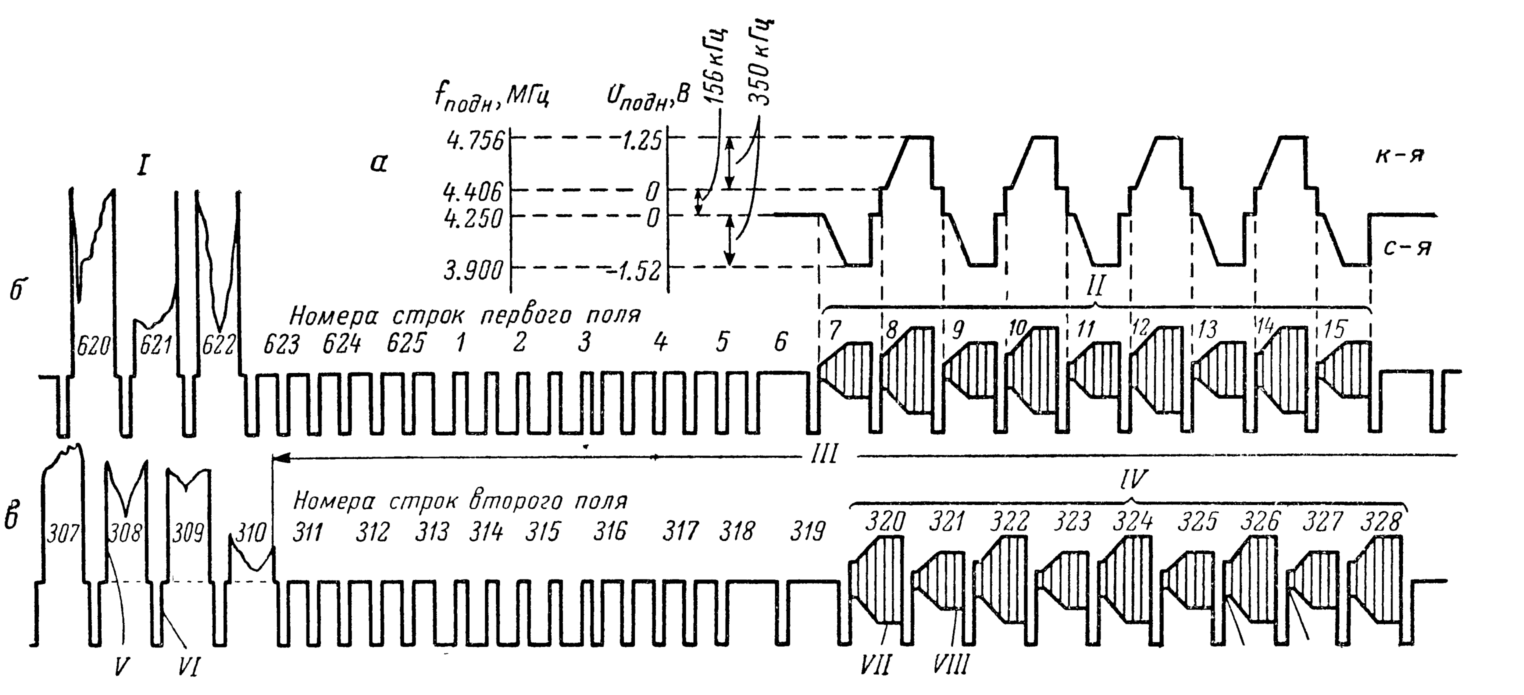


Рис. 38. Сигналы цветовой синхронизации на входе частотно-модулированного генератора (*а*) и полный цветовой телевизионный сигнал системы СЕКАМ для первого (*б*) и второго полей (*в*).

I — сигналы изображения; *II* — сигналы цветовой синхронизации; *III* — гасящий импульс полей; *IV* — сигналы цветовой синхронизации; *V* — строчный гасящий импульс; *VI* — строчный синхронизирующий импульс; *VII* — колебания частоты поднесущей $f_к$=4.756 МГц; *VIII* — $f_с$=3.900 МГц; *IX* — $f_{ок}$=4.406 МГц; *X* — $f_{ос}$=4.250 МГц.

ключевой каскад *15*, который отпирается строчными синхронизирующими импульсами и выделяет пакеты колебаний поднесущей частоты в периоды обратного хода развертки. Фазовый детектор *16* попеременно от строки к строке сравнивает колебания поднесущей частоты по фазе с колебаниями эталонных генераторов *17*, подключаемых к нему при помощи коммутатора *10* (*2*). Фазовый детектор вырабатывает сигналы-ошибки в виде импульсов напряжения, пропорциональных уходу частоты генератора от частоты эталонного генератора. Сигналы-ошибки изменяют опорный потенциал фиксирующей цепи *14* и тем самым сдвигают частоту генератора колебаний поднесущей в нужном направлении. Спусковое устройство *18* (*1*) вырабатывает симметричные импульсы полустрочной частоты для управления коммутатором. Эти же импульсы добавляются к опорному потенциалу фиксирующей цепи. При этом в сигнале на входе генератора создаются добавочные напряжения. Тогда средние частоты колебаний поднесущей частоты $f_к$ и $f_с$ в соседних строках принимают разные значения. Это делается для получения лучшей помехоустойчивости системы.

Требуемая жесткая связь между эталонными частотами колебаний поднесущей и частотой строк достигается здесь методом фазовой синхронизации. Последняя осуществляется ударным возбуждением генераторов *17* строчными синхронизирующими импульсами. Для того чтобы колебания частотно-модулированного генератора поднесущей начинались также в одной и той же фазе, эти колебания срываются в конце каждой строки на короткое время специальным импульсом напряжения срыва, который создается блокинг-генератором *19*. Этот импульс добавляется к цветоразностному сигналу в суммирующем устройстве *5* (*2*).

Для перемежения спектров яркостного и цветоразностного сигналов в совместимых системах цветного телевидения применяют частотную или фазовую синхронизацию, либо коммутацию фазы. В системе СЕКАМ используется последний метод. Здесь собственная частота генератора колебаний поднесущей устанавливается кратной частоте строк. Модулированные колебания поднесущей частоты через ограничитель *12* (*2*) подводятся к коммутаторам *10* (*3*) и *10* (*4*), которые для улучшения совместимости изменяют их фазу в начале каждой третьей строки,

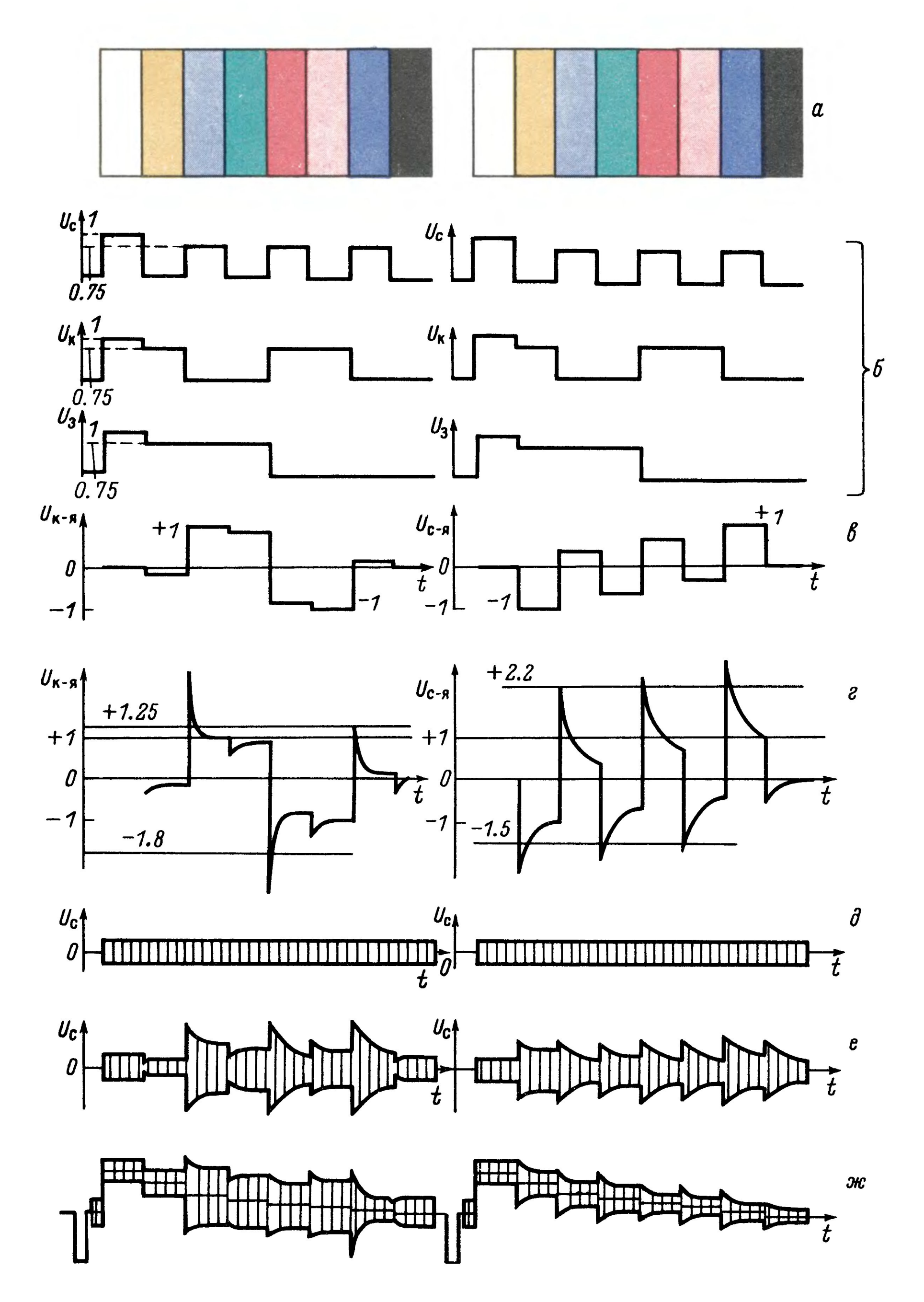


Рис. 39. Изображение цветных полос и форма сигналов в системе СЕКАМ.

а — изображение на экране цветного кинескопа; *б* — сигналы генератора цветных полос; *в* — сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$; *г* — они же после низкочастотной предварительной коррекции; *д* — сигнал цветности; *е* — он же после высокочастотной предварительной коррекции; *ж* — полный сигнал.

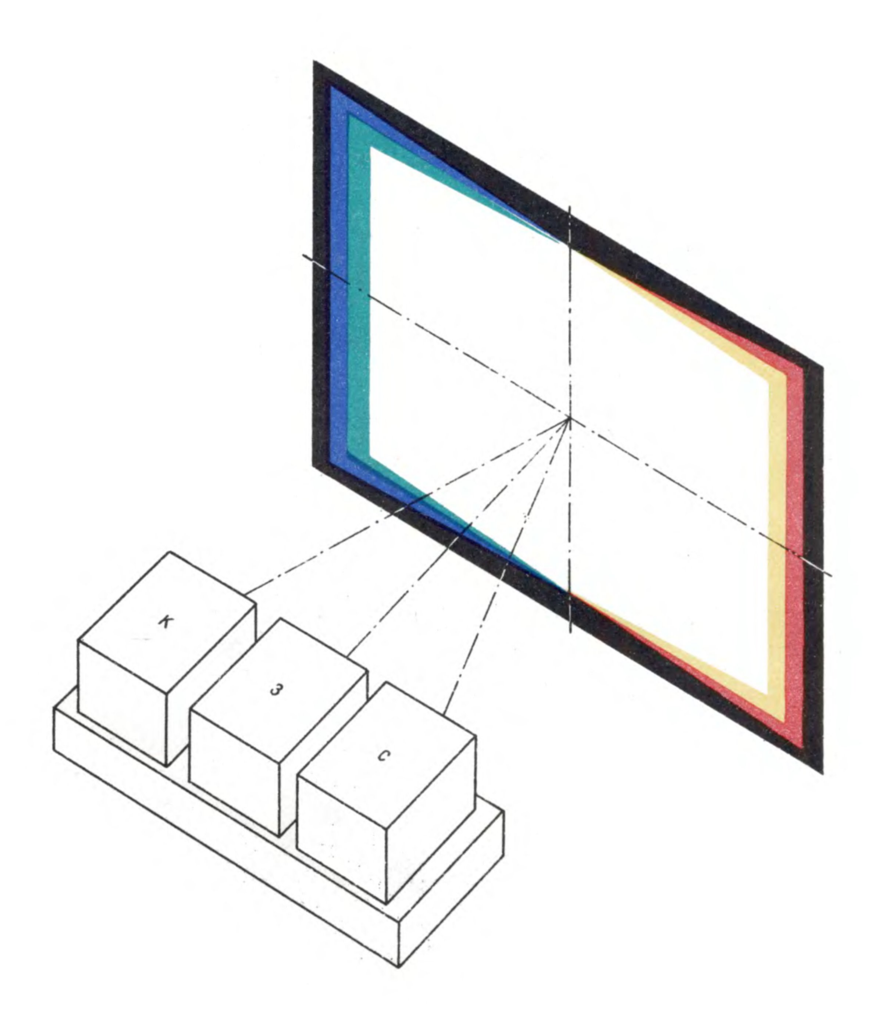


Рис. 49. Проекция трех цветоделенных изображений на светорассеивающий экран.

а также и от поля к полю на 180°. Частотно-модулированные колебания поднесущей частоты цветоразностных сигналов показаны на рис. 39, *д*.

С целью подавления влияния шумов введена цепь высокочастотной предварительной коррекции *20*, пройдя которую колебания поднесущей частоты приобретают амплитудную модуляцию (рис. 39, *е*). В приемнике эта нежелательная модуляция компенсируется фильтром с обратной характеристикой и при помощи ограничителя. Вспомогательный модулятор *21* позволяет уменьшить искажения, обусловленные совмещением спектров. Проявляются эти искажения в виде окрашенных продолжений мелких деталей.

В каскаде *22* подавляется сигнал цветности на время действия обратного хода строчной развертки. Необходимое для нормальной синхронизации развертывающих устройств приемников гашение сигнала цветности заканчивается через 5.7 мкс после переднего фронта строчного синхронизирующего импульса, благодаря чему до конца обратного хода остается участок немодулированной поднесущей, длительностью около 5 мкс. Этот защитный интервал позволяет закончиться переходным процессам в канале цветности приемника до начала развертки строки. В противном случае левый край изображения был бы искажен шумами. Кроме того, в этот интервал времени передаются колебания со средней частотой поднесущей (колебания частоты покоя), которые являются опорными на выходе дискриминаторов приемника. Подавление сигнала цветности на время обратного хода по строке осуществляется импульсами гашения, создаваемыми генератором *23*.

На блок-схеме (см. рис. 37) показаны также спусковые устройства *18* (*2*, *3*, *4*), управляющие коммутаторами *10* (*1*, *3*, *4*).

Яркостный сигнал $U_{\text{я}}$ с линии задержки *29* и цветоразностные сигналы $U_{\text{к-я}}$ или $U_{\text{с-я}}$ подаются в суммирующее устройство *5* (*1*), на выходе которого и получают полный сигнал СЕКАМ, записываемый в виде:

$$U_{\text{М}} = U_{\text{я}} + U_0 \cos \varphi_{\text{к, с}}.$$

Частоты поднесущих цветности, кратные строчной частоте, выбраны равными:

$$f_{\text{к}} = 282 f_{\text{стр}} = 4406.25 \text{ кГц} \pm 2 \text{ кГц},$$

$$f_c = 272 f_{стр} = 4250 \text{ кГц} \pm 2 \text{ кГц}.$$

Девиация поднесущей частоты при передаче сигнала $U_{к-я}$ составляет 280 кГц, а при передаче сигнала $U_{с-я}$ она равна 230 кГц. Девиация по сигналу $U_{к-я}$ взята большей для увеличения помехоустойчивости радиоприема телевизионных сигналов.

С выхода суммирующего устройства полный телевизионный сигнал (рис. 39, *ж*) подается на вход усилителя, после чего он может быть передан на расстояние при помощи кабеля, радиопередатчика, наземной или космической радиорелейной линии связи.

Телевизионные радиопередатчики

В СССР для телевизионного вещания отведено 12 каналов в диапазоне метровых волн (от 48.5 до 230 МГц) и начато освоение диапазона 470—638 МГц. Каждому каналу отведена полоса частот 8 МГц. Во избежание взаимных искажений соседние (по территории) телевизионные радиостанции вещают на разных частотах. Ограниченный радиус действия ультракоротковолновых передатчиков позволяет в этих каналах разместить десятки телевизионных станций, не мешающих работе друг друга. При многопрограммном вещании в крупных городах одновременно работает несколько радиопередатчиков. Для радиорелейных линий и передвижных станций применяют передатчики и сантиметрового диапазона с частотами несущих колебаний от 3000 МГц и выше.

В телевизионном радиопередатчике (рис. 40, *а*) модуляция осуществляется на высоком уровне мощности. В выходном каскаде передатчика несущие колебания модулируются изменением смещения на сетке генераторной лампы. Модулятор представляет собой мощный многокаскадный широкополосный усилитель, повышающий величину телевизионного сигнала до 500 В и более.

На рис. 40, *б*, *в* показаны типовые амплитудно-частотные характеристики телевизионного радиоканала. Так как одна из боковых полос сигнала вместе с несущим колебанием содержат полную информацию о передаваемом изображении, то нижняя боковая полоса подавляется и не излучается. Однако создать фильтр, который мог бы отфильтровать все колебания нижней боковой полосы

частот, практически невозможно. Поэтому происходит передача и части нижней боковой полосы частот колеба-

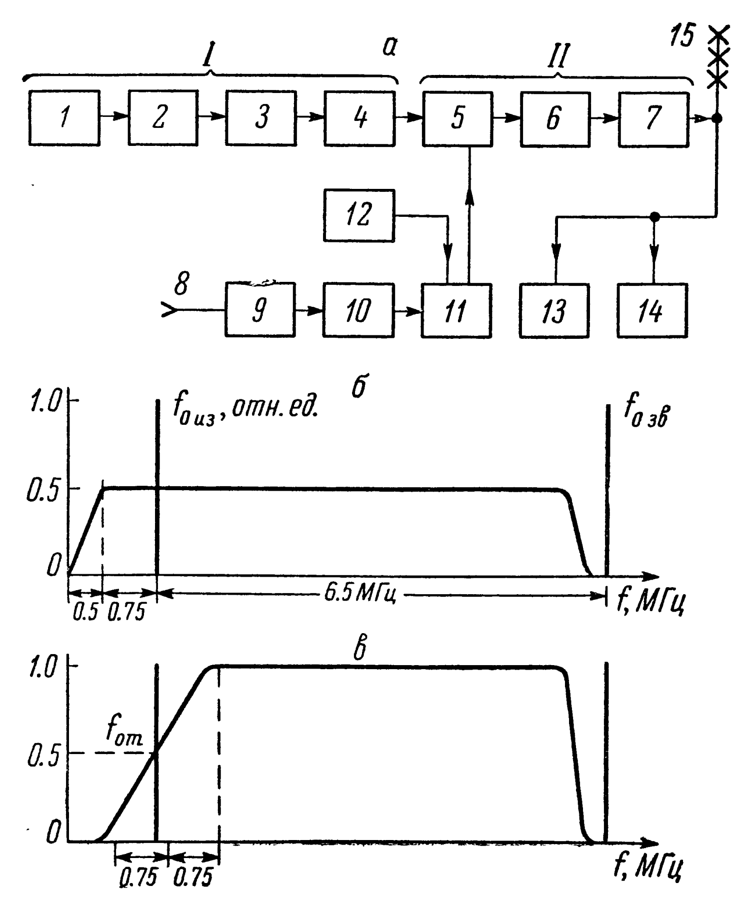


Рис. 40. Блок-схема телевизионного радиопередатчика с модуляцией на высоком уровне мощности (*а*) и стандартные амплитудные характеристики телевизионного передатчика (*б*) и приемника (*в*).

I — узкополосный тракт; *II* — широкополосный; *1* — задающий генератор; *2* — буферный каскад; *3* — умножитель частоты; *4* — усилитель колебаний высокой частоты; *5* — усилитель мощности; *6* — выходной усилитель мощности; *7* — фильтр одной боковой полосы; *8* — телевизионный сигнал от камеры; *9* — усилитель; *10* — выходной каскад видеоусилителя; *11* — модулятор; *12* — устройство привязки уровня черного; *13* — контроль частоты; *14* — контроль модуляции; *15* — передающая антенна.

ний в эфир. Приемник ослабляет колебания несущей частоты вдвое (рис. 40, *в*).

П е р е д в и ж н ы е   с т а н ц и и. В практику телевизионного вещания вошли передвижные телевизион-

ные станции (ПТС), позволяющие вести передачи непосредственно с места событий. Принятый на телецентре сигнал записывается на видеомагнитофон или передается в эфир вместе с основной программой.

Передвижные телевизионные станции, оборудованные четырьмя передающими камерами и другими техническими средствами, широко используются для осуществления политических, спортивных и других актуальных передач. Практически каждый телецентр имеет несколько ПТС, а в Москве на телецентре им. 50-летия Октября их насчитывается более десяти.

Для оперативной подготовки программ и высвобождения при этом стационарных средств консервации изображений используются ПТС с видеомагнитофонами. Первая такая станция была создана в нашей стране в 1962 г., а в 1973 г. было начато серийное производство третьей модификации передвижной станции магнитной видеозаписи (ПВС-3). Станция оборудована видеомагнитофоном «Кадр-3» и контрольно-измерительной аппаратурой.

При записи особо ответственных передач, а также записи программ, длительностью свыше 90 мин, предусмотрен режим совместной работы двух станций, причем одна считается главной, другая — резервной. Главная станция получает сигналы непосредственно от источника, резервная — от главной. Однако передвижные станции видеозаписи могут работать только вместе с передвижными телевизионными станциями. С целью совмещения функций ПТС и ПВС создана станция ПТВС-2ЦТ, аппаратура формирования и видеозаписи сигнала которой размещена в одном автобусе. Датчиками сигнала цветного телевидения этой станции являются две цветные передающие телевизионные камеры, которые могут быть вынесены из автобуса на расстояние до 600 м, а для записи программ имеются два видеомагнитофона «Кадр-3». Существуют также передвижные станции только на две передающие камеры, а также машины с репортажными камерами, с помощью которых ведут передачи прямо с «рук оператора». Камеры могут также устанавливаться и на вертолеты, катера и другие передвижные средства.

Глава 5

ПРИЕМНИКИ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Процессы в узлах цветного телевизора

На функциональной схеме цветного телевизора, справедливой для основных трех систем цветного телевидения, штриховкой выделены те узлы, которые являются обязательными для цветных телевизоров и отсутствуют в черно-белых телевизорах (рис. 41).

Принятые телевизионной антенной высокочастотные сигналы изображения и звукового сопровождения подводятся к переключателю телевизионных каналов, с помощью которого производится выбор нужного телевизионного канала, отстройка от сигналов на других каналах и побочных сигналов, усиление колебаний высокой частоты и преобразование усиленных колебаний высокой частоты в колебания более низких так называемых промежуточных частот.

Переключатель телевизионных каналов состоит из входной цепи, усилителя колебаний высокой частоты, местного генератора колебаний высокой частоты (гетеродина) и смесителя.

Входная цепь представляет собой колебательный контур, связанный с антенной. Входной контур, настраиваемый на частоту принимаемых сигналов, осуществляет предварительную избирательность (выделение сигналов нужной радиостанции из сигналов других радиостанций). Избирательность характеризуют резонансной кривой. Идеальная резонансная кривая должна иметь прямоугольную форму с шириной, соответствующей полосе частот принимаемых колебаний (рис. 42, *а*). Реальные резонансные кривые (рис. 42, *б*) показывают ослабление колебаний боковых частот полосы. В переключателе телевизионных каналов для каждого канала имеется своя система колебательных контуров, заранее настроенная на прием сигналов определенного канала. Катушки контуров помещаются на барабане, который может поворачиваться и занимать одно из нескольких фиксированных положе-

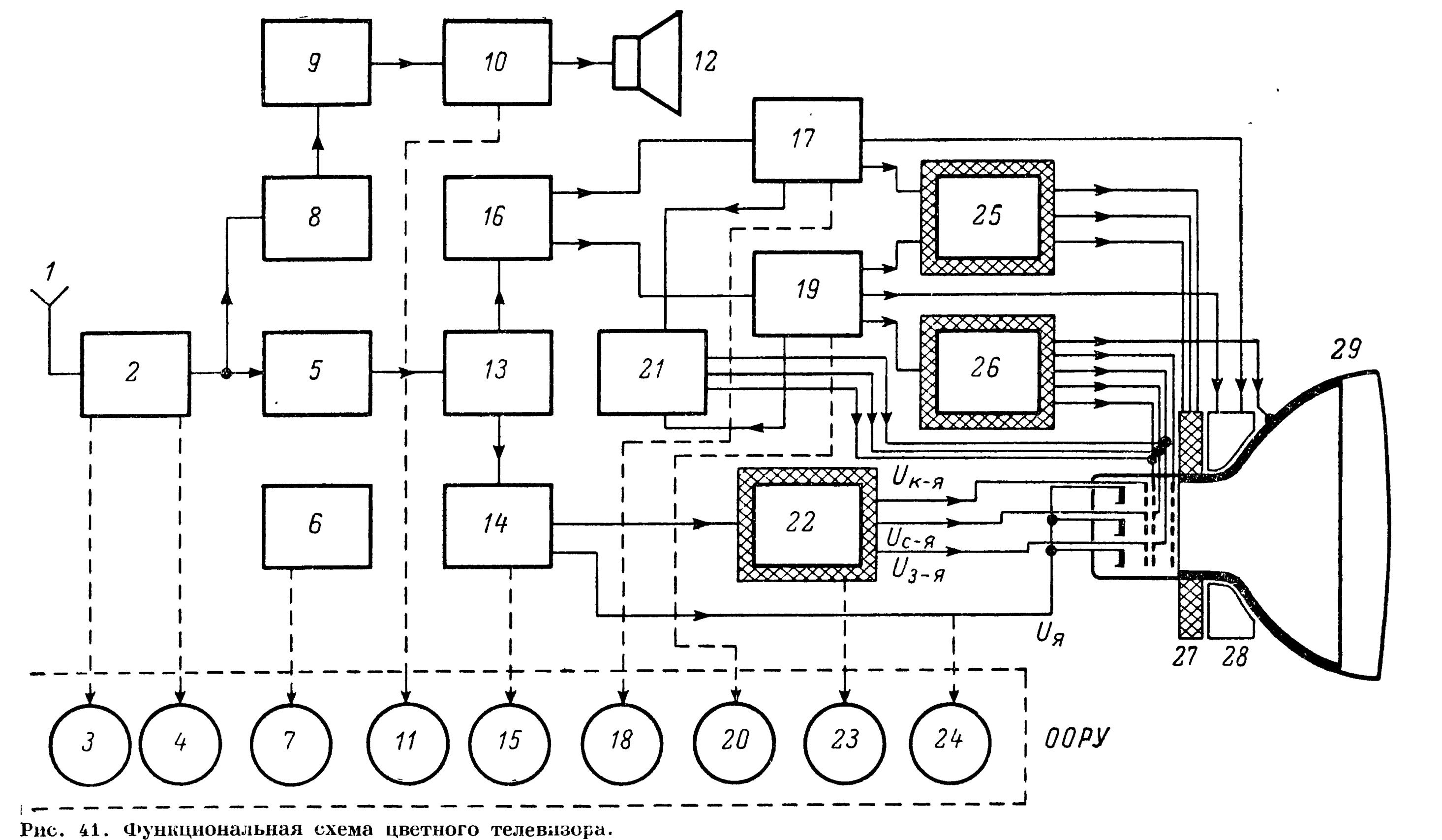


Рис. 41. Функциональная схема цветного телевизора.

1 — приемная антенна; *2* — усилитель сигналов высокой частоты; *3* — переключение каналов; *4* — точная настройка; *5* — усилитель промежуточной частоты сигналов изображения; *6* — низковольтный выпрямитель; *7* — выключатель сети; *8* — усилитель промежуточной частоты сигналов звука; *9* — детектор; *10* — усилитель сигналов звуковой частоты; *11* — регулировка громкости; *12* — громкоговоритель; *13* — детектор; *14* — видеоусилитель телевизионного сигнала; *15* — контраст-

ний. В каждом положении с помощью пружинящих контактов к схеме подключается система контуров, настроенная на соответствующие частоты данного канала. С изменением канала производится переключение колебательных контуров на входе и выходе усилителя колебаний высокой частоты и в цепях местного генератора колебаний высокой частоты. Колебания частоты сигнала и колебания гетеродина подводятся к смесителю с целью преобра-

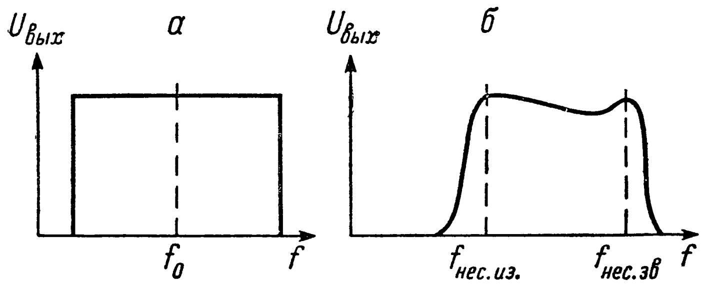


Рис. 42. Идеальная резонансная кривая приемника (*а*) и реальная резонансная кривая переключателя телевизионных каналов (*б*).

зования колебаний высокой частоты телевизионного сигнала в колебания промежуточной частоты сигналов изображения (38 МГц) и колебания промежуточной частоты (31.5 МГц) звукового сопровождения. В схеме рис. 41 предусматривается раздельное усиление колебаний промежуточных частот сигналов изображения и звукового сопровождения. Однако широко распространено также усиление обоих сигналов в общем тракте усилителя промежуточной частоты.

Усилитель промежуточной частоты является по существу усилителем колебаний высокой частоты и может быть выполнен, так же как и другие цепи телевизора, с применением электронных ламп либо транзисторов. Обычно он состоит из трех или четырех каскадов. Полоса пропускания усилителей промежуточной частоты сигналов изображения должна быть достаточно широкой, чтобы

ность; *16* — разделение синхроимпульсов; *17* — генератор вертикально отклоняющих колебаний; *18* — частота кадров; *19* — генератор горизонтально отклоняющих колебаний; *20* — частота строк; *21* — формирование импульсов гашения; *22* — блок сигналов цветности; *23* — цветовая насыщенность; *24* — яркость; *25* — блок динамического сведения; *26* — высоковольтный выпрямитель; *27* — катушки сведения; *28* — отклоняющая система; *29* — цветной кинескоп. ООРУ — основные органы регулировки и управления.

обеспечить усиление всех составляющих сигналов изображения. С целью предотвращения воспроизведения на экране телевизора сигналов звукового сопровождения последние подавляются при помощи режекторных контуров. Все применяемые схемы режекции основаны на резонансных свойствах контуров. Принцип режекции заключается в следующем. При резонансе образуется делитель напряжения, состоящий из внутреннего сопротивления источника входного напряжения и малого резонансного сопротивления последовательного контура. Сигнал подавляемой (режектируемой) частоты почти целиком падает на внутреннем сопротивлении источника входного напряжения, ибо это сопротивление значительно больше сопротивления цепи последовательного контура. В результате на выходе схемы получают значительно ослабленное напряжение режектируемых колебаний.

Усилители промежуточной частоты сигналов звукового сопровождения выполняют с относительно узкой полосой пропускания — до 0.5 МГц. В детекторе частотно-модулированный сигнал промежуточной частоты звука преобразуется в сигнал звуковой частоты. Колебания звуковой частоты после усиления подводятся к одному или нескольким громкоговорителям.

С выхода усилителя промежуточной частоты сигналов изображения напряжение поступает на вход видеодетектора. В большей части телевизоров видеодетектор выделяет из сигналов промежуточной частоты полный телевизионный сигнал. Одновременно в результате биений двух несущих (видео и звука) образуется сигнал звукового сопровождения на частоте 6.5 МГц. Эти колебания являются по существу второй промежуточной частотой сигналов звукового сопровождения, которые и усиливаются двумя-тремя каскадами усилителя и подаются на частотный детектор. С выхода частотного детектора колебания звуковой частоты подаются на вход усилителя низкой частоты; выход последнего соединен с громкоговорителями.

В телевизорах обычно применяют диодные детекторы (рис. 43). Напряжение промежуточной частоты $U_{пр}$ колебательного контура, который образуют катушка индуктивности L_2 и конденсатор C_1, приложено к диоду, включенному последовательно с нагрузочным резистором $R_н$. В течение отрицательных значений переменного

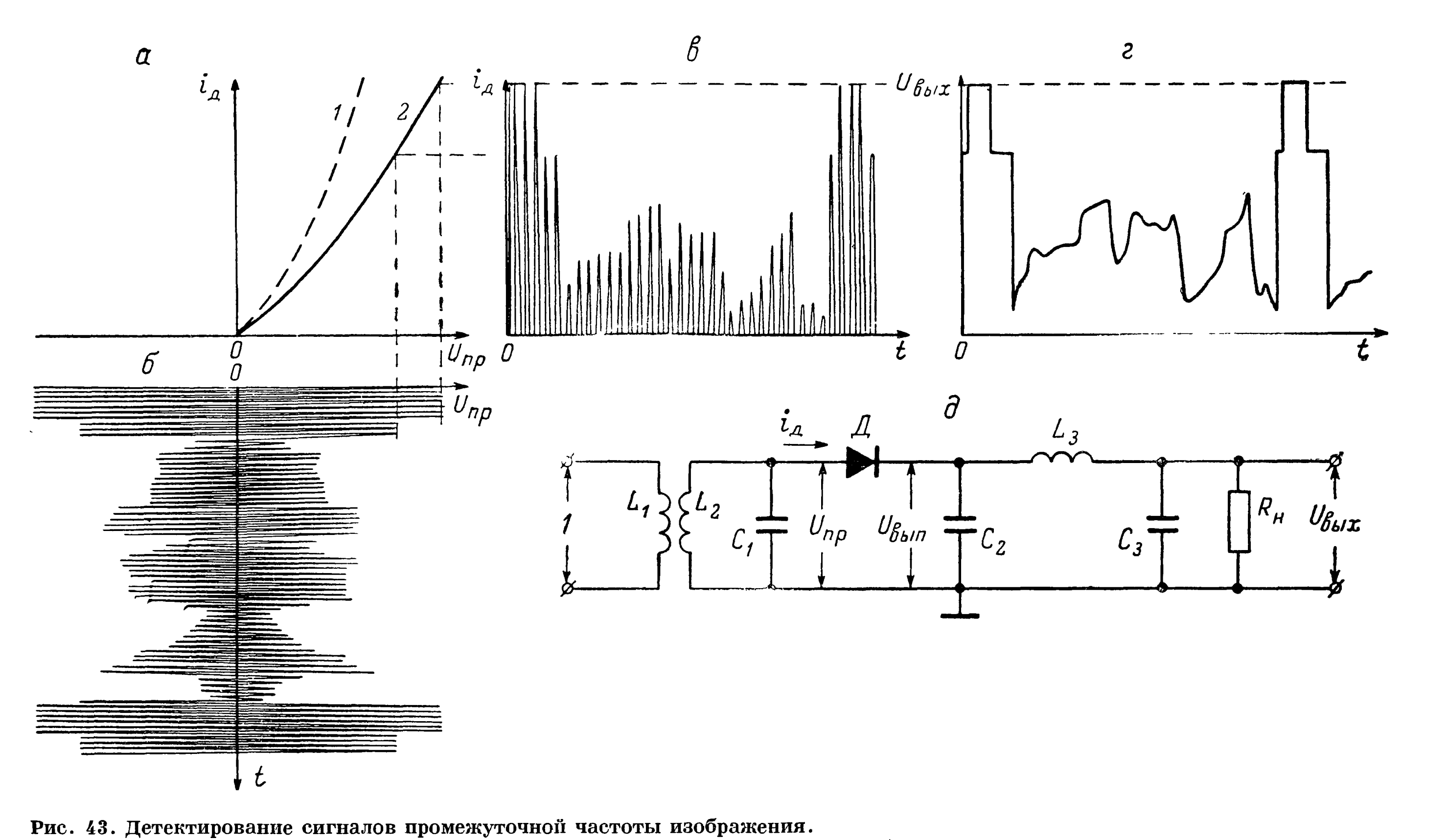


Рис. 43. Детектирование сигналов промежуточной частоты изображения.

а — характеристика диода: *1* — статическая, *2* — динамическая; *б* — сигнал промежуточной частоты; *в* — график тока диода; *г* — телевизионный сигнал после детектирования $U_{вых}$; *д* — схема диодного детектора: *1* — сигнал от усилителя колебаний промежуточной частоты.

напряжения ток через диод не проходит. В положительные полупериоды напряжения промежуточной частоты ток $i_д$ проходит в направлении, указанном стрелкой (рис. 43, *д*). Пульсирующее напряжение $U_{вып}$ можно представить как сумму составляющей $U_{вых}$, являющейся полным телевизионным сигналом, и ряда высокочастотных компонентов, представляющих гармоники промежуточной частоты. Высокочастотные гармоники напряжения подавляются дросселем L_3 и конденсаторами C_2 и C_3, а напряжение телевизионного сигнала снимается с нагрузочного резистора детектора и подается на вход видеоусилителя.

На выходе детектора получают напряжение порядка 1—2 В, тогда как для модуляции электронных пучков трехпушечного цветного кинескопа необходимы напряжения порядка 80—120 В. Требуемое усиление телевизионного сигнала производится двух-четырехкаскадным видеоусилителем. Кроме того, видеоусилитель используется для некоторого усиления сигнала второй промежуточной частоты сигналов звукового сопровождения частотой 6.5 МГц. Наличие в межкаскадной связи усилителя переходных конденсаторов приводит к потере постоянной составляющей видеосигнала на выходе усилителя. Если не принять мер для восстановления постоянной составляющей видеосигнала, то произойдут яркостные и цветовые искажения воспроизводимого изображения, ибо постоянная составляющая видеосигнала отражает изменения средней яркости изображения. Восстановление постоянной составляющей производится фиксацией на выходе видеоусилителя вершин гасящих импульсов на одном уровне (уровне черного), и тогда среднее значение сигнала оказывается отстоящим от уровня черного на ту величину, которая определена исходными сигналами изображения (сюжетом изображения).

После усиления полного цветового телевизионного сигнала производится выделение цветоразностных сигналов из его состава путем фильтрации. Выделенные цветоразностные сигналы подводятся к блоку сигналов цветности, а оставшийся сигнал яркости подвергается дополнительному усилению. Особенность обработки яркостного сигнала $U_я$ заключается в пропускании его через линию задержки 0.7—0.8 мкс. Применение линии задержки вызвано тем, что цветоразностные сигналы до своего поступления к приемной трубке проходят через относи-

тельно узкополосный канал блока цветовых сигналов. Это приводит к некоторому замедлению в нарастании фронтов этих сигналов по сравнению с яркостным сигналом, усиление которого происходит в широкополосных каскадах. Применение линии задержки позволяет совместить на экране детали, яркость и окраска которых определяются яркостным и цветоразностными сигналами.

На входных цепях канала цветности (рис. 44) при помощи резонансного контура *1* производится обратная коррекция предыскажений (осуществленных на передающей стороне) и ослабление составляющих яркостного сигнала, находящихся в пределах колебаний частот сигнала цветности.

Сигнал цветности, представляющий собой колебания одной или другой поднесущей частоты, модулированные по частоте цветоразностными сигналами, ввиду передачи в полосе частот яркостного сигнала имеет паразитную амплитудную модуляцию. Это происходит из-за того, что размах видеосигнала меняется с изменением яркости передаваемых изображений. С целью устранения этой паразитной модуляции колебания поднесущих частот ограничиваются при помощи схемы *2* (I). Уменьшенные в 5—10 раз по размаху колебания поднесущих частот затем подводятся к усилителю *3* (I). Усиленный сигнал направляется по двум путям одновременно — непосредственно на вход электронного коммутатора и на вход канала задержанного сигнала.

Канал задержанного сигнала *II* образуют ультразвуковая линия задержки *4* и усилитель *3* (*II*), компенсирующий вносимое этой линией ослабление сигнала цветности. Благодаря использованию линии задержки и электронного переключателя сигналы цветности $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$ появляются одновременно каждый в своем канале, хотя на входе блока сигналов цветности они появляются последовательно во времени. Работой коммутатора управляет генератор прямоугольных импульсов напряжения, полярность которых меняется с частотой строк. Генератор импульсов (так называемый триггер) имеет два выходных напряжения — одно для управления работой коммутатора, другое — для осуществления цветовой синхронизации, т. е. для правильной установки фазы триггера, с тем чтобы колебания каждой из поднесущих поступали в свои каналы красного и синего сигналов.

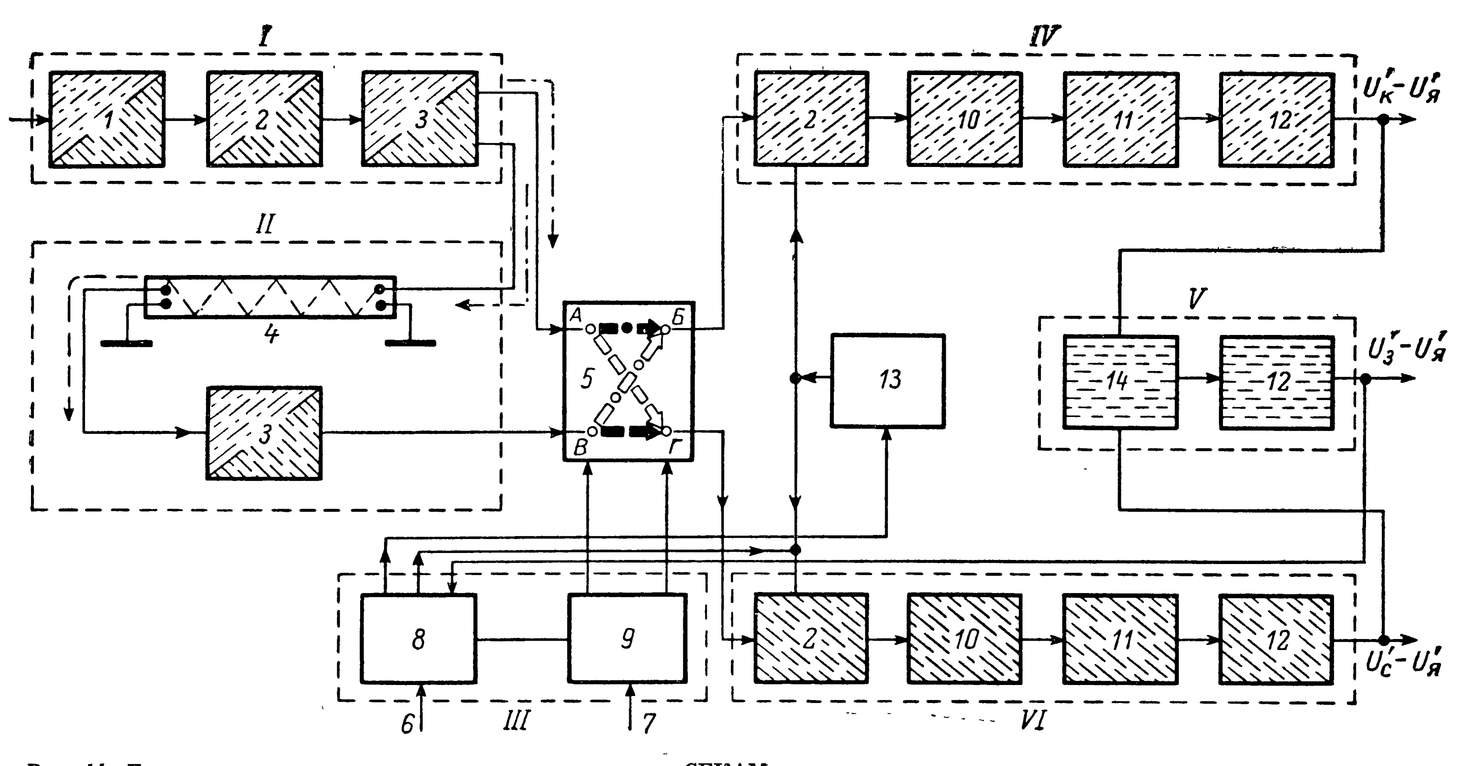


Рис. 44. Блок-схема канала цветности приемника системы СЕКАМ.

I — входные устройства; *II* — канал задержанного сигнала; *III* — каскады цветовой сигнализации; *IV* — канал красного; *V* — канал зеленого; *VI* — канал синего. *1* — резонансный контур; *2* — ограничители; *3* — усилители; *4* — ультразвуковая линия задержки; *5* — коммутатор; *6* — кадровые импульсы; *7* — строчные импульсы; *8* — несимметричный триггер; *9* — симметричный триггер; *10* — частотный детектор; *11* — цепи коррекции низкочастотных предыскажений сигналов; *12* — выходной каскад; *13* — схема стробирования; *14* — пересчетное устройство,

Работа электронного коммутатора *5* контролируется схемой цветовой синхронизации, основой которой является несимметричный триггер. Сигналы цветовой синхронизации (опознавания) поступают на вход несимметричного триггера *8* вместе со специально сформированными импульсами напряжения обратного хода кадровой развертки. Эти импульсы напряжения необходимы для управления несимметричным триггером при отсутствии сигналов цветовой синхронизации строки при приеме черно-белого изображения и систематической проверки правильности коммутации цветоразностных сигналов при приеме цветных изображений. Под воздействием кадровых импульсов *6* схема цветовой синхронизации вырабатывает сигналы, которые запирают канал цветности на время прямого хода кадровой развертки и открывают его на время обратного хода. Это происходит при передаче черно-белого изображения. При приеме цветного изображения и правильной фазе коммутации в электронном коммутаторе сигналы цветовой синхронизации нейтрализуют действие кадрового импульса и триггер не запирает канал цветности, через который сигналы цветного изображения проходят беспрепятственно. Если происходит нарушение правильности переключений в коммутаторе, то изменяется полярность сигналов цветовой синхронизации. В результате несимметричный триггер вырабатывает корректирующие импульсы напряжения, которые поступают на симметричный триггер *9*, управляющий работой электронного коммутатора.

На зажиме *Б* коммутатора всегда присутствует сигнал поднесущей красного цветоразностного сигнала, а на зажиме *Г* — сигнал поднесущей синего цветоразностного сигнала. Эти колебания подвергаются дальнейшей обработке в каналах красного и синего сигналов. В каждом из этих каналов вначале колебания ограничивают по амплитуде с целью устранения паразитной амплитудной модуляции, появляющейся в процессе преобразований в канале задержанного сигнала и коммутаторе. С ограничителей *2* (*IV*) и *2* (*VI*) колебания поднесущих частот поступают на частотные детекторы-дискриминаторы, выделяющие из частотно-модулированных колебаний цветоразностные сигналы $U'_{к-я}$ и $U'_{с-я}$. С выходов дискриминаторов *10* (*IV*), *10* (*VI*) цветоразностные сигналы подаются на цепочки *11* (*IV*) и *11* (*VI*) коррекции низко-

частотных предыскажений сигналов. Перед подачей этих сигналов на модуляторы красной и синей пушек кинескопа производят дополнительное их усиление.

Цветоразностные сигналы зеленого канала создаются в пересчетном устройстве *14*, куда подаются цветоразностные сигналы $U_{к-я}$ и $U_{с-я}$, складывающиеся в определенной пропорции. Результатом сложения является цветоразностный сигнал $U_{з-я}$, который дополнительно усиливается, а затем поступает на модулятор зеленой пушки кинескопа.

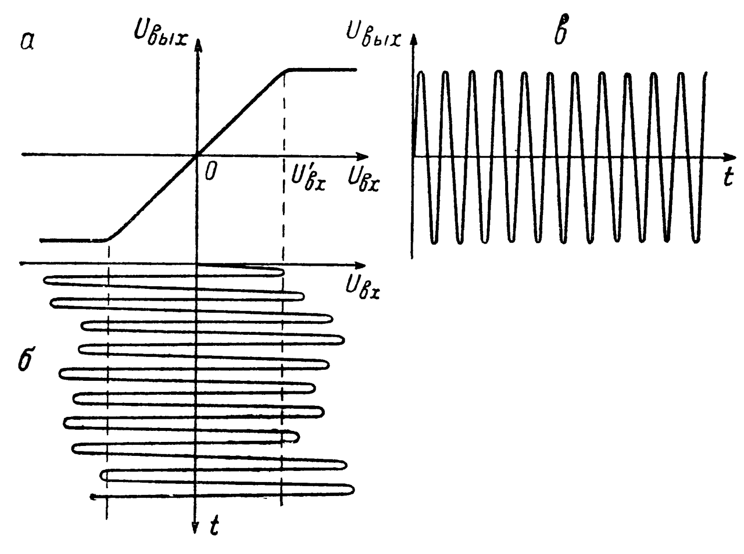


Рис. 45. Ограничение амплитуды колебаний.

а — характеристика ограничителя; *б* — входной сигнал; *в* — выходной сигнал (ограниченный).

Схема стробирования *13* предотвращает изменение величины сигналов цветовой синхронизации строки из-за регулировок пределов ограничения ограничителей *2* (*IV*) и *2* (*VI*).

Более подробно рассмотрим процессы, происходящие в некоторых узлах блока сигналов цветности.

Принцип ограничения амплитуды частотно-модулированных колебаний показан на рис. 45. На рис. 45, *б* приведен подвергнутый искажениям частотно-модулированный сигнал, а на рис. 45, *а* дана характеристика ограничителя, показывающая зависимость его выходного напряжения от входного. При небольших значениях входного напряжения величина выходного напряжения растет

пропорционально напряжению на входе. Начиная от некоторого входного напряжения $U'_{вх}$, при дальнейшем его возрастании выходное напряжение уже не повышается. Величина $U'_{вх}$, при которой начинается ограничение, называется порогом ограничения. На рис. 45, *в* приведен вид напряжения на выходе ограничителя, где помехи отсечены.

Основным элементом канала задержанного сигнала является устройство (линия задержки), служащее для задержки колебаний поднесущей частоты на 64 мкс

Рис. 46. Схема многогранной кварцевой ультразвуковой линии задержки.

1 — входной кварцевый пьезоэлектрический преобразователь; *2* — ход ультразвукового луча; *3* — звукопровод из плавленного кварца; *4* — выходной кварцевый пьезоэлектрический преобразователь.

т. е. на время одной строки изображения. Как это происходит? Если пропустить телевизионный сигнал через отрезок специального кабеля длиной в 1 м, то произойдет задержка сигнала на 0.65 мкс. Применение такого принципа задержки потребовало бы около 100 м кабеля. Поэтому от использования кабеля в этом случае отказались. В приемниках системы СЕКАМ применяют специальные малогабаритные ультразвуковые линии задержки. Принцип работы таких линий основан на преобразовании электрических сигналов в ультразвуковые на входном конце устройства и обратном их преобразовании на выходном конце после того, как ультразвуковые колебания затратили определенное время для прохождения звукопровода между входным и выходным преобразователями. Ультразвуковые линии задержки при их относительно малых размерах способны обеспечить значительно большее время задержки, чем электрические линии в виде

отрезков кабеля и линий с сосредоточенными постоянными, потому что скорость распространения ультразвуковых колебаний примерно в 100 000 раз меньше скорости распространения электромагнитных.

Ультразвуковые линии задержки могут иметь различный принцип действия. На рис. 46 приведена схема одной из таких линий с использованием многократного отражения ультразвукового пучка на его пути в звукопроводе из плавленного кварца от входного преобразователя до выходного. С целью уменьшения размеров устройства звукопровод сделан в виде многогранной кварцевой призмы. В этом случае ультразвуковой пучок распространяется в звукопроводе не по прямой, а по ломаной линии с многократными отражениями *2*. В линии задержки могут возбуждаться как продольные, так и поперечные ультразвуковые колебания.

Колебания поднесущих частот цветоразностных сигналов от входного устройства подводятся к входной кварцевой пьезоэлектрической преобразовательной пластине *1* и в ней преобразуются в ультразвуковые колебания. После распространения в кварцевом многограннике в течение 64 мкс они попадают на выходной кварцевый пьезоэлектрический преобразователь *4*, где ультразвуковые колебания вновь преобразуются в электрические колебания поднесущих частот цветоразностных сигналов. Преобразование электрического сигнала сопровождается его многократным ослаблением, поэтому перед подачей выходных сигналов линии задержки к коммутатору производится их усиление.

Обычно электронный коммутатор выполняется по мостовой схеме на четырех или восьми полупроводниковых диодах (рис. 47). Несмотря на то что сигналы поднесущих частот $f_{к-я}$ и $f_{с-я}$ передаются телецентром по очереди, на входных зажимах A и B они появляются одновременно благодаря линии задержки. К входному зажиму A всегда поступает прямой сигнал, а к входному зажиму B — задержанный. Попеременно через строку они несут информацию о красном ($f_{к-я}$ или $f'_{к-я}$) либо о синем ($f_{с-я}$ или $f'_{с-я}$) цвете в передаваемом изображении. Одновременно к зажимам A и B подаются прямоугольные импульсы, полярность которых меняется также через строку.

Если к зажиму A подводится сигнал красного, то к зажиму B подводится сигнал синего канала, передававшийся

в течение предыдущей строки и задержанный в линии задержки. При этом одновременно к зажиму *А* подводится положительный импульс управляющего напряжения, а к зажиму *В* — отрицательный. Положительный импульс включит ветвь с диодом $Д_1$ (рис. 47, *а*), а отрицательный — ветвь с диодом $Д_2$. Соответственно, незадержанный сигнал $f_{к-я}$ поступает к зажиму *Б*, а задержанный сигнал $f'_{с-я}$ — к выходному зажиму коммутатора *Г*. После передачи

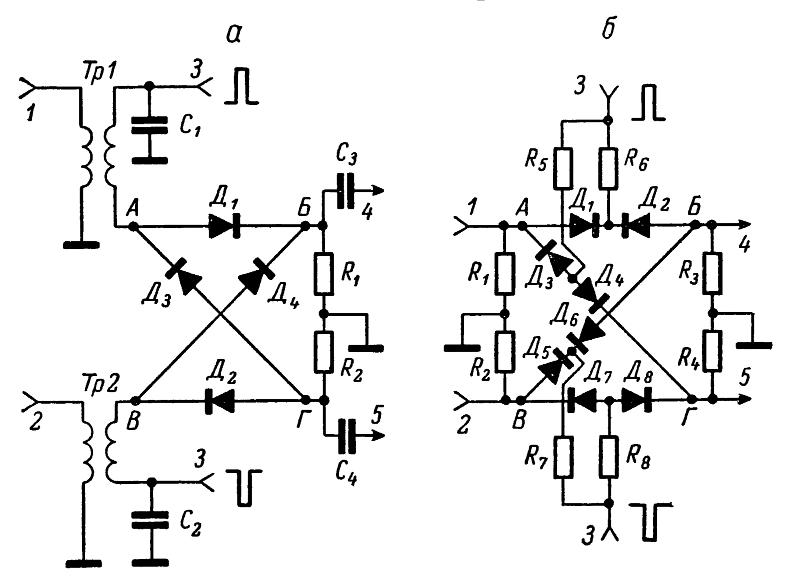


Рис. 47. Четырехдиодный (*а*) и восьмидиодный (*б*) электронные коммутаторы.
1 — прямой сигнал; *2* — задержанный сигнал; *3* — входы импульсов коммутации; *4* — выход к каналу к—я; *5* — выход к каналу с—я.

цветоразностных сигналов одной строки полярность вспомогательных импульсов напряжения, подводимых к зажимам *А* и *В*, изменяется. Теперь к зажиму *А* коммутатора подводится незадержанный сигнал $f_{с-я}$. Через открытый диод $Д_3$ этот сигнал подводится к выходному зажиму *Г*. В то же время задержанный сигнал $f'_{к-я}$ с зажима *В* поступает на зажим *Б* в связи с тем, что теперь к зажиму *В* подводится импульс отрицательного напряжения и открывается диод $Д_4$. Из сказанного следует, что к выходному зажиму *Б* всегда поступает информация только о красном цветоразностном сигнале, а к зажиму *Г* — о синем. Различие состоит лишь в том, что если в данный момент к зажиму *Б* подводится незадержанный сигнал красного,

то к зажиму *Г* — сигнал предыдущей строки синего, и наоборот. Направления токов в коммутаторе для двух следующих друг за другом строк показаны, соответственно, пунктирными линиями (см. рис. 44).

Восьмидиодный коммутатор (рис. 47, *б*) имеет ряд преимуществ по сравнению с четырехдиодным — малы пере-

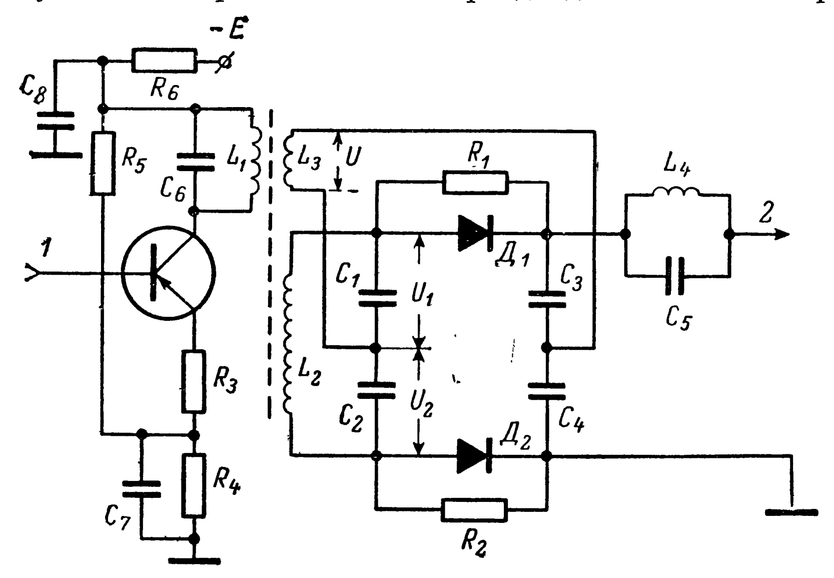


Рис. 48. Схема частотного детектора в канале цветоразностного сигнала.
1 — от усилителя колебаний поднесущей частоты; *2* — к видеоусилителю цветоразностного сигнала.

крестные помехи между каналами и происходит дополнительное ограничение (выравнивание) амплитуд колебаний поднесущих цветоразностных сигналов. Здесь при поступлении к входному зажиму прямого сигнала красного канала управляющими импульсами положительной полярности включаются ветви с диодами $Д_7$ и $Д_8$. Соответственно в канал красного проходит незадержанный сигнал поднесущей красного, а в канал синего — сигнал поднесущей синего.

Как уже отмечалось, в выходной цепи каждого канала сигналов поднесущих частот имеется частотный детектор (рис. 48), в котором из сигналов поднесущих частот выделяются цветоразностные сигналы $U'_{к-я}$ и $U'_{с-я}$. Нагрузкой последнего каскада усилителя сигналов поднесущих частот здесь является фазосдвигающий трансформатор,

Контур L_1C_6 первичной цепи этого трансформатора настроен на поднесущую частоту и индуктивно связан со вторичной цепью с помощью катушки L_3. Резисторы R_1 и R_2 являются нагрузочными. На катушке индуктивности L_3 действует напряжение, сдвинутое по фазе (на резонансной частоте) относительно напряжения на первичной обмотке трансформатора L_1, а на катушке L_2 оно сдвинуто по фазе на 90° по отношению к напряжению на катушке L_3 благодаря конденсаторам C_1 и C_2. К диоду $Д_1$ приложена сумма напряжений $U+U_1$, а к диоду $Д_2$ — сумма напряжений $U+U_2$. При этом напряжения U_1 и U_2 относительно друг друга сдвинуты по фазе на 180°.

Допустим, что рассматриваемый частотный детектор установлен в канале красного. Тогда первичный и вторичный контуры трансформатора настроены на резонансную частоту 4.406 МГц. Если в данный момент на вход схемы подаются колебания с частотой 4.406 МГц, то напряжения, действующие на диоды, будут равны. Токи, протекающие через диоды, будут также равны и противоположны по направлению. Тогда напряжение на нагрузочных резисторах (суммарное) будет равно нулю.

Если частота сигнала на входе частотного детектора отклонилась от частоты 4.406 МГц, то на нагрузке детектора образуется сигнал, полярность и величина которого зависят от величины и направления изменения частоты входного сигнала. Вспомним, что на передающей стороне изменение поднесущей частоты относительно средней частоты (в результате процесса частотной модуляции) было пропорционально величине цветоразностного сигнала. Соответственно на выходе частотного детектора возникает цветоразностный сигнал $U'_{к-я}$, напряжение которого подается к выходному каскаду видеоусилителя через фильтр-пробку L_4C_5. Последний задерживает напряжение цветовой поднесущей и пропускает лишь цветоразностный сигнал.

Цветные воспроизводящие устройства

Полученные в цветном телевизионном приемнике сигналы, несущие информацию о красной, зеленой и синей составляющих изображения сцены, могут быть использованы для получения цветного телевизионного изображения различными способами. Рассмотрим некоторые из них.

Телевизор с тремя кинескопами. Один из наиболее очевидных и, казалось бы, простых методов воспроизведения цветного изображения заключается в использовании трех кинескопов, на каждом из которых создаются самостоятельные цветоделенные изображения в красном, синем и зеленом цветах. Полученные на экранах кинескопов изображения необходимо совместить. Такое совмещение достигается либо проекцией трех цветоделенных изображений на светорассеивающий экран, либо визуальным совмещением при помощи полупрозрачных или дихроических зеркал.

В варианте проекции изображений на светорассеивающий экран (рис. 49) три проекционные системы расположены в один ряд и оси их направлены в общую точку в центре светорассеивающего экрана. Изображение, проецируемое средним проектором, имеет на экране прямоугольную форму. Изображения от крайних проекторов искажены за счет неравных расстояний правого и левого краев экрана от оптических проекционных систем. Трапецеидальные искажения изображений в такой системе можно скорректировать специальными отклоняющими системами либо специальными электрическими схемами в цепях генераторов развертывающих колебаний. В качестве проекционных систем здесь могут быть использованы линзовые, отражательные и плоско-зеркальные оптические элементы. Наименее пригодными для этой цели являются линзовые оптические устройства из-за своей малой светосилы.

Проекционные воспроизводящие устройства применяются для получения изображения больших размеров. В связи с громоздкостью и значительной стоимостью в настоящее время они считаются не перспективными.

Применяется и другой способ визуального совмещения трех цветоделенных изображений, осуществляемый при помощи полупрозрачных или дихроических зеркал (см. рис. 20). В этом случае не возникает существенных искажений изображения, однако телевизор опять-таки оказывается громоздким. Трудно с большой точностью совместить три первичных изображения из-за использования трех самостоятельных отклоняющих систем в трех кинескопах.

Устройство всех трех кинескопов здесь идентично, различными являются лишь состав и цвет свечения экранов. Кинескоп состоит из электронной пушки, фокусирующей

системы, люминесцентного экрана и (не всегда) системы взрывозащиты. Все электроды трубки помещены в стеклянный или металло-стеклянный баллон, из которого выкачан воздух. В зависимости от способа фокусировки и отклонения электронного пучка различают несколько типов кинескопов. На рис. 50 показана наиболее распространенная трубка с электростатической фокусировкой

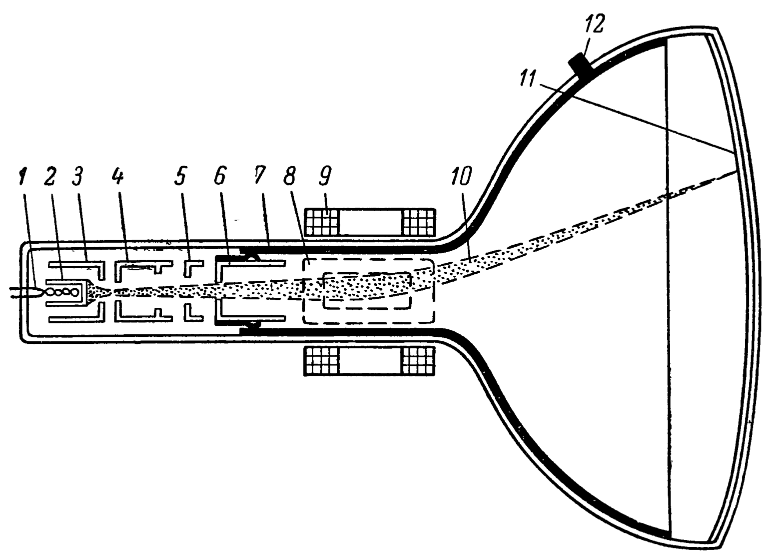


Рис. 50. Устройство кинескопа.

1 — нить накала; *2* — катод; *3* — управляющий электрод; *4* — первый анод; *5* — ускоряющий электрод; *6* — второй анод; *7* — проводящее покрытие; *8* — катушки вертикального отклонения; *9* — катушки горизонтального отклонения; *10* — электронный пучок; *11* — слой люминесцирующего вещества; *12* — вывод анода.

и отклонением пучка магнитным полем. Электронная пушка в ней состоит из нескольких электродов, служащих для излучения, фокусировки и изменения интенсивности электронного пучка. Пушка монтируется в горловине колбы трубки и содержит подогревный катод, управляющий и ускоряющий электроды, первый и второй аноды.

Катодом служит металлический цилиндр, на торце которого создается эмиттирующая оксидная поверхность. Подогревается он изнутри нитью накала. За катодом располагается управляющий электрод (модулятор) — полый цилиндр с отверстием, расположенным против центра катода. На управляющий электрод подается отрицательное относительно катода напряжение величиной от нескольких

до десятков вольт. Изменяя потенциал модулятора, меняют количество электронов, направляемых к экрану трубки. Кроме того, модулятор играет важную роль в общем формировании пучка.

Ускоряющий электрод и первый анод создают вблизи катода электрическое поле большой напряженности, необходимое для образования электронного пучка. На первый анод подается положительное относительно катода напряжение величиной в несколько сотен вольт. Большее напряжение подается на ускоряющий электрод. Второй анод соединяется с внутренним проводящим покрытием баллона трубки; на него подается напряжение от нескольких тысяч до полутора десятков тысяч вольт. Напряжение второго анода определяет скорость электронов, бомбардирующих экран.

Электрические поля, созданные различно заряженными электродами пушки, образуют электронные линзы. Они собирают расходящийся поток электронов, создаваемый катодом, в сходящийся узкий пучок.

Экран трубки представляет собой тонкий слой люминофора — порошкообразного кристаллического вещества, способного светиться под действием электронной бомбардировки. Быстро движущиеся электроны бомбардируют люминофор и отдают ему свою энергию, которая частично выделяется в виде тепла, а частично возбуждает атомы люминофора. Переход атомов из возбужденного состояния в нормальное проявляется в виде излучения электромагнитных колебаний с различными частотами, включая частоты видимой области спектра. Пучок электронов создает на экране светящееся пятно небольших размеров, которое и является элементом растра, определяющим размеры элемента изображения. Химический состав люминофора и его структура определяют яркость, цвет свечения и способность сохранять свечение в течение определенного времени после прекращения облучения электронным пучком.

Движение электронного пучка по экрану обеспечивает отклоняющая система, надетая на горловину трубки. Она состоит из двух пар отклоняющих катушек, оси которых взаимно перпендикулярны. По одной паре последовательно соединенных катушек пропускается пилообразный ток кадровой частоты (см. рис. 9, *б*), а по другой — ток строчной частоты (см. рис. 9, *в*).

Яркость свечения люминофора пропорциональна скорости бомбардирующих электронов, плотности тока пучка и длительности бомбардировки. Если электронный пучок обегает экран и одновременно к модулятору подводятся сигналы изображения, то изменяется ток пучка, а соответственно и яркость отдельных элементов поверхности экрана. Совокупность точек различной яркости и образует телевизионное изображение.

В процессе эксплуатации в трубках образуются отрицательные ионы. Как и электроны, они устремляются к экрану. При отклонении магнитным полем угол отклонения заряженных частиц обратно пропорционален корню квадратному их массы. Так как масса иона значительно больше массы электрона, то ионы отклоняются на меньший угол, чем электроны, и, обладая большей массой, разрушают со временем центральную часть экрана. Потемнение центральной части экрана называют ионным пятном. Для повышения яркости и контраста изображений и предотвращения появления ионного пятна экран металлизируют, т. е. на люминесцентный слой наносится очень тонкий слой алюминия. Пленка алюминия, прозрачная для электронов, хорошо задерживает ионы и предохраняет экран от образования ионного пятна. Кроме того, алюминиевый слой отражает по направлению к зрителю часть световых лучей, которая безвозвратно затерялась бы для него, уйдя внутрь трубки. Металлическая пленка электрически соединена с анодом прожектора.

Для получения изображений больших размеров достаточной яркости в проекционных системах используют кинескопы большой яркости — проекционные кинескопы. Они имеют экран небольшого размера. Большая яркость экрана достигается здесь за счет увеличения тока пучка и значительного увеличения анодного напряжения (до 20—100 кВ). Колбы таких трубок изготавливаются из специального стекла, так как при длительной бомбардировке быстрыми электронами обычное стекло темнеет и световая отдача экрана падает.

В телевизоре могут использоваться трубки с белым свечением экрана, тогда перед каждой из трубок необходимо установить цветные светофильтры. При этом соответственно увеличатся световые потери.

Трехлучевой цветной кинескоп с теневой маской. Кинескоп (рис. 51, *а*) состоит

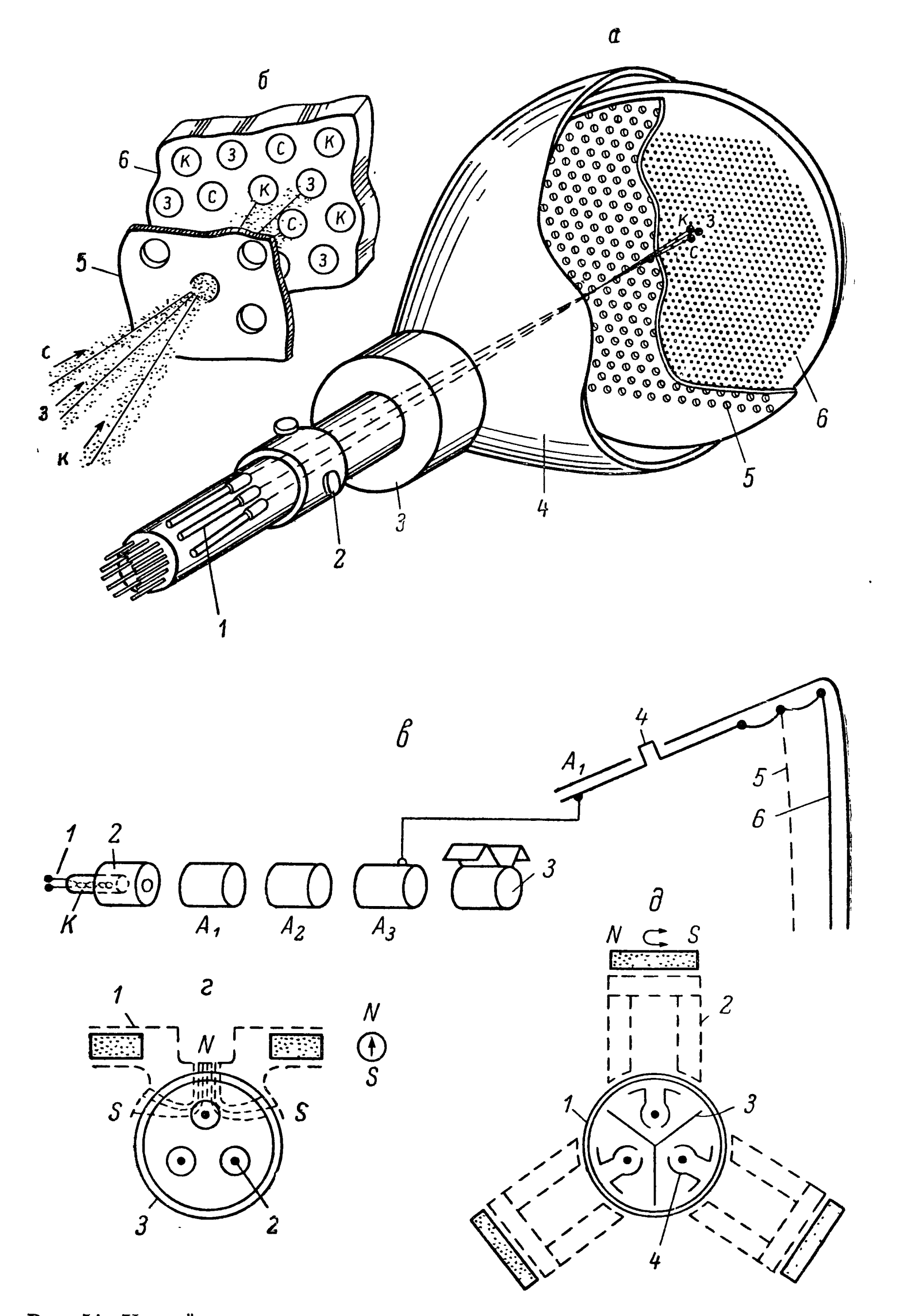


Рис. 51. Устройство масочного кинескопа.

а — общий вид: *1* — электронные прожекторы, *2* — цилиндр сведения, *3* — отклоняющая система, *4* — колба, *5* — теневая маска, *6* — люминофорные точки; *б* — прохождение электронных лучей через отверстия теневой маски; *в* — устройство одного из прожекторов трубки: *А* — анод, *К* — катод, *1* — нить накала, *2* — управляющий электрод, *3* — внутренний полюсный наконечник, *4* — внутреннее покрытие колбы, *5* — теневая маска, *6* —

из следующих основных частей: стеклянного конуса с горловиной, переднего стекла трубки с нанесенным на него (с внутренней стороны) экраном, металлической рамы, теневой маски и трех электронных пушек. В конце горловины расположены выводы электродов кинескопа. Электродами кинескопа являются: три подогревателя, три катода, три модулятора, три ускоряющих электрода, фокусирующий цилиндр и цилиндр сведения. Внутренняя поверхность стеклянного конуса кинескопа покрыта проводящим слоем, играющим роль второго анода. На него подается высокое напряжение через вывод в конусе трубки.

На внутреннюю поверхность переднего стекла колбы нанесен экран. Он образован зернами люминофоров трех типов, которые при возбуждении электронными пучками светятся красным, синим и зеленым цветами. Расположение зерен подчинено определенной последовательности, которая меняется от строки к строке (рис. 51, *б*). Люминесцирующий экран можно рассматривать как совокупность триад люминофоров, в каждую из которых входят люминофорные зерна всех трех цветов. Число таких триад на экране равно числу элементов воспроизводимого изображения и составляет примерно 500 000. Диаметр одного зерна (в зависимости от размера экрана) составляет 0.3—0.43 мм. С расстояния нормального наблюдения телевизионных изображений свечение зерен люминофорной триады (при бомбардировке их электронными пучками) воспринимается нашим зрением как суммарное, результирующий цвет которого определяется относительной яркостью свечения отдельных зерен люминофоров триады.

Каждая из пушек (рис. 51, *в*) служит для создания электронных пучков, возбуждающих зерна только определенного цвета. Попадание электронных пучков только на свои зерна в процессе движения всех трех пучков по экрану трубки достигается применением специальной технологии изготовления экрана, выбором угла наклона электронных пушек по отношению к оси кинескопа, применением теневой маски и системы магнитов, корректирующих движение электронных пучков.

точечный экран; *г* — поперечное сечение системы продольного сведения: *1* — система внешнего магнита, *2* — электронный пучок, *3* — горловина трубки; *д* — поперечное сечение системы радиального сведения: *1* — горловина трубки, *2* — наружная система магнитов, *3* — внутренний экран, *4* — внутренние полюсные наконечники.

Наиболее распространенным способом изготовления трехцветных экранов является фотографический. При этом на внутреннюю поверхность переднего стекла колбы ровным слоем наносится паста, состоящая из смеси одного из люминофоров со связующим светочувствительным веществом. После сушки этот слой освещается мощным источником ультрафиолетового излучения через трафарет (маску), структура отверстий которого соответствует требуемой структуре элементов экрана. Освещенные участки пасты задубливаются и становятся нерастворимыми для проявителя. С неосвещенных участков паста смывается. Этот процесс затем повторяется для создания точечных растров из люминофоров двух остающихся цветов. Если первоначально создан растр из зерен синего люминофора, то точечный источник света будет располагаться на месте установки электронной пушки синего канала. При нанесении красного и зеленого люминофоров точечный источник ультрафиолетового излучения устанавливается в месте будущей установки пушек красного и зеленого каналов. После создания трех точечных растров из различных люминофоров на экран наносится пленка из органических веществ, а затем напыляется пленка алюминия.

Три пушки расположены в основании горловины кинескопа по углам, образующим равносторонний треугольник, симметрично относительно оси кинескопа и наклонены к ней под углом около 1°. Для попадания каждого из пучков на свой люминофор триады они должны пересекаться (сводиться) в плоскости теневой маски. С этой целью и придается небольшой наклон каждой пушке по отношению к оси кинескопа. Однако из-за неизбежных неточностей в юстировке пушек в процессе изготовления в их конструкцию введен цилиндр сведения (рис. 51, *г*, *д*), внутри которого расположены три пары полюсных наконечников, разделенных магнитным экраном. С наружной стороны к горловине кинескопа прилегают установленные под углом 120° друг к другу три пары магнитопроводов статического и динамического сведения, силовые линии которых проходят через стекло горловины и создают в пространстве между полюсными наконечниками магнитное поле. В плоской части каждого сердечника имеется выемка, в которой закреплен металлический цилиндр из феррита, намагниченный по диаметру. Поворотом этого магнита изменяют величину и направление магнитного

потока между внутренними полюсными наконечниками цилиндра сведения. В результате электронный пучок смещается в радиальном направлении под углом 120° по отношению к двум другим пучкам. Дополнительное смещение электронного пучка производится магнитом бокового смещения, представляющим собой феррит цилиндрической формы, намагниченный по окружности и вмонтированный в пластмассовую ручку. Создаваемый им магнитный поток замыкается через полюсные наконечники и магнитопровод из феррита, который расположен между магнитом бокового смещения и горловиной кинескопа. При повороте постоянного магнита изменяется величина и направление смещения синего электронного пучка по горизонтали. Позади магнита синего пучка расположены пластмассовые кольца с зубцами, в которые вклеены магниты для регулировки чистоты цвета. При помощи трех магнитов статического сведения красного, зеленого и синего пучков и магнита бокового смещения три электронных пучка сводятся в плоскости теневой маски в центре экрана.

Маска представляет собой тонкую (0.15 мм) стальную пластину, в которой имеется около 500 000 отверстий (равное числу триад) диаметром около 0.3 мм. От центра маски к краям в радиальном направлении диаметр отверстий маски постепенно уменьшается (до 0.15 мм), что делается не у всех трубок. Это способствует улучшению чистоты цвета на краях экрана. Центр каждого отверстия маски приходится против центра равностороннего треугольника, в вершинах которого расположены зерна красного, зеленого и синего люминофоров. Электронные пучки, пройдя отверстие маски, снова слегка расходятся и попадают каждый на соответствующее зерно люминофора. К модуляторам электронных пушек подводятся соответственно сигналы цветоделенных изображений. Таким образом, каждая группа из трех различных люминофоров воспроизводит один элемент изображения.

Поскольку прозрачность отверстий в маске составляет всего 16.5%, то лишь шестая часть электронов от каждой пушки достигает экрана. Три электронных пучка цветного масочного кинескопа вместе посылают на экран в два раза меньше электронов, чем один электронный пучок обычного сравнимого кинескопа. С целью достижения достаточной яркости свечения потерю в числе «работающих» электронов компенсируют повышением анодного напряжения

цветного кинескопа, доводя его до 25 000 В. Однако при этом возникает проблема повышения мощности, рассеиваемой на маске. Поскольку основная часть электронного потока бомбардирует маску, то последняя нагревается, рассеивая мощность порядка 20 Вт. В связи с тем, что в процессе эксплуатации также происходит нагревание маски, уже при монтировке стараются предусмотреть все, чтобы избежать ее прогибания. При расширении она перемещается по линии электронного пучка так, что не нарушается положение отверстий относительно центра равностороннего треугольника, образованного зернами основных цветов.

При соударении электронов пучка с теневой маской появляются вторичные электроны, которые проходят сквозь алюминиевое покрытие и, возбуждая все зерна экрана, уменьшают насыщенность воспроизводимых цветов.

Трубки с теневой маской не обеспечивают уровень яркости, достаточный для работы в условиях высокой внешней освещенности. В этих условиях уменьшается также контрастность и цветовая насыщенность воспроизводимого изображения.

Структура экрана такова, что в дополнение к площади, занятой зернами люминофора, примерно 10% площади экрана покрыто только хорошо отражающей в обратном направлении свет алюминиевой пленкой. Сами зерна люминофора имеют некоторую неизлучающую область, но, однако, отражают свет. Последнее способствует уменьшению контрастности. Контрастность изображения существенно возрастает при покрытии части неизлучающей поверхности черным, не отражающим свет материалом.

У цветного кинескопа 59ЛК3Ц угол отклонения 90°. В настоящее время создан цветной масочный кинескоп с углом отклонения 110°. Размер экрана по диагонали составляет 59 см, длина его, уменьшенная на 73 мм, равна 410 мм. Это позволяет сократить глубину ящика телевизора и его вес. С целью увеличения эффективности отклонения электронных пучков диаметр горловины уменьшен с 38 до 29 мм.

Все три пучка отклоняются одной отклоняющей системой, что является достоинством трубки. Однако из-за того, что поверхность теневой маски отличается от сферической, сведение пучков по мере отклонения их от центра экрана происходит еще до прихода их к отверстиям

в теневой маске (рис. 52, *а*), поскольку расстояние от центра отклонения до маски возрастает к краю. По этой причине электроны будут достигать плоскости маски в виде расходящегося пучка и попадать на зерна люминофоров различных триад. Для правильного сведения пучков по всей поверхности теневой маски углы отклонения электронных пучков должны быть неравными.

Три электронные пушки расположены на некотором расстоянии от оси кинескопа, в результате чего образуются три растра, смещенных относительно друг друга (рис. 52, *б*). Возникают также подушкообразные искажения, которые свойственны кинескопам с большим углом отклонения и плоским экраном. Они появляются в связи с тем, что радиус кривизны экрана значительно больше расстояния от средней точки отклонения до экрана. Поэтому при одинаковых углах отклонения путь электронного пучка, проходимый им в центре, оказывается меньшим, чем по краям.

Коррекция искажений, возникающих в процессе развертки, производится системой динамического сведения. С изменением угла отклонения пучков изменяют магнитное поле регуляторов сведения. С этой целью токи кадровой и строчной частот пропускают через катушки, помещенные на сердечниках регулятора сведения. Как видно из рис. 52, *б*, при перемещении пучков к краям экрана красный и зеленый пучки смещаются выше, а синий — ниже горизонтальной пунктирной линии. При отклонении по вертикали красный пучок оказывается всегда правее, а зеленый пучок — левее вертикальной линии, проведенной между ними в центре и на краях. Отсюда следует, что в целях совмещения трех пучков в одной точке каждый из них необходимо дополнительно сдвигать с увеличением угла отклонения в одном и том же направлении независимо от того, в какой части экрана он находится. Поскольку расхождение пучков возрастает к краям растра, то корректирующее магнитное поле также должно возрастать по мере отклонения пучка от центра растра. Требуемое магнитное поле коррекции получают пропусканием через катушки динамического сведения тока, близкого по форме к параболическому. Необходимая синхронность в изменении этого поля при отклонении электронных пучков достигается формированием тока из напряжений строчной и кадровой разверток.

На чистоте воспроизводимого цвета сказывается точ-

ность установки отклоняющей системы. С целью обеспечения возможности регулировки положения отклоняющей катушки на горловине кинескопа закрепляют кожух, по направляющим которого можно перемещать отклоняющую систему.

Внешние магнитные поля (поле Земли, поля намагниченных деталей кинескопа и телевизора) искривляют траекторию электронных пучков, что может привести к нарушению чистоты цвета. Это происходит из-за попадания пучков не только на свои, но и на соседние зерна люминофора. Для нейтрализации действия магнитного поля Земли используют два диаметрально намагниченных кольца, помещаемых на горловине кинескопа за магнитом регулировки положения синего пучка. Это устройство называют магнитом чистоты цвета. Кроме того, влияние внешних магнитных полей и частично магнитного поля Земли устраняется при помощи экранирующего кожуха вокруг баллона кинескопа и обода крепления вокруг экрана. Для их размагничивания между баллоном кинескопа и экранирующим кожухом помещают петлю, по которой кратковременно пропускается ток при включении телевизора.

Особенностью включения цветного кинескопа является подача модулирующих напряжений одновременно на его катоды и модуляторы (рис. 53). На катоды подается яркостный сигнал $U'_{я}$ с выхода видеоусилителя канала яркости, а на модуляторы — три цветоразностных сигнала $U'_{с-я}$, $U'_{к-я}$ и $U'_{з-я}$ с выходов соответствующих видеоусилителей блока цветности.

У наблюдателя создается впечатление о белом свечении экрана кинескопа в том случае, если яркости свечения каждого из трех цветоделенных растров будут находиться в определенном соотношении. Балансом белого называют такой режим работы цветного кинескопа, при котором изменение постоянного и переменных напряжений между модуляторами и катодами одновременно на всех трех пушках не влияет на цветовой оттенок белого цвета свечения экрана, а изменяет только его яркость. Регулируя потенциалы модуляторов потенциометрами R_{10}, R_{11} и R_{12}, получают белый цвет свечения для выбранной в данный момент яркости. Тогда говорят о наличии статического баланса белого. Его проверяют на чистом засинхронизированном растре.

Динамический баланс белого проверяют по качеству воспроизведения серой шкалы испытательного сигнала. На нарушение баланса указывает появление меняющейся цветовой окраски изображения серого клина при регулировке яркости или контрастности изображения. Дина-

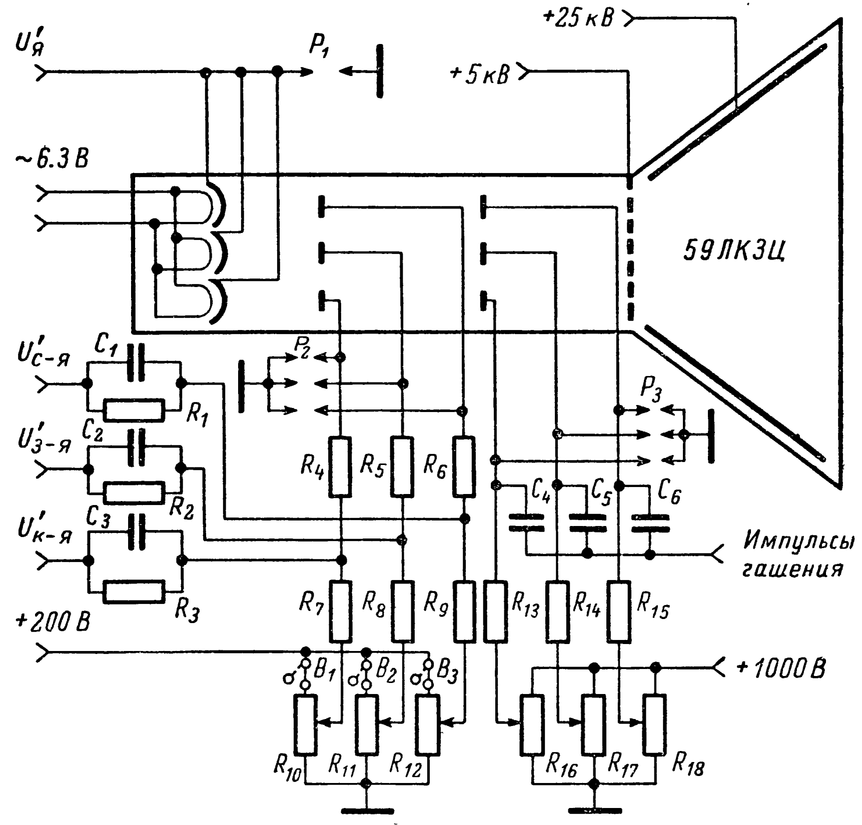


Рис. 53. Схема включения трехлучевого цветного кинескопа.

мический баланс белого устанавливают изменением напряжения на ускоряющих электродах пушек при помощи потенциометров R_{16}, R_{17} и R_{18}, изменяя при этом крутизну модуляционных характеристик кинескопа. Модуляторы кинескопа связаны с выходными каскадами усилителей цветоразностных сигналов через цепочки ограничения токов пучков C_1, R_1, C_2, R_2, C_3, R_3.

В процессе эксплуатации телевизора возможны электрические пробои между электродами кинескопа, которые могут вывести из строя цветной кинескоп или связанные

с ним электрические цепи. Основными причинами появления электрических разрядов внутри кинескопа и между его выводами являются: наличие различных частиц внутри колбы и на цоколе трубки, образование частиц под действием электростатических сил с плохо обработанных поверхностей электродов, разряд емкости, образованной токоведущими проводами и отклоняющими катушками и внутренним проводящим покрытием колбы. Для защиты кинескопа и электрических цепей от электрических разрядов в цветных телевизорах используют разрядники (P_1, P_2, P_3) и ограничительные резисторы (R_4, R_5, R_6, R_{13}, R_{14}, R_{15}).

Фокусирующие электроды прожекторов электрически соединены между собой внутри кинескопа. На них подается регулируемое напряжение около 5 кВ. Выключатели B_1, B_2 и B_3 служат для выключения отдельных электронных пушек при проверке цветовоспроизведения или непосредственно кинескопа.

Сигналы первичных цветов восстанавливаются в кинескопе, ибо на его катоды подается яркостный сигнал $U'_{я}$, а на модуляторы — цветоразностные сигналы $U'_{с-я}$, $U'_{к-я}$ и $U'_{з-я}$. Тогда между модуляторами и соответствующими катодами будут действовать меняющиеся с содержанием изображения разности потенциалов:

$$U'_{я}+U'_{к-я}=U'_{я}+U'_{к}-U'_{я}=U'_{к};\quad U'_{я}+U'_{с-я}=U'_{я}+ \\ +U'_{с}-U'_{я}=U'_{с};\quad U'_{я}+U'_{з-я}=U'_{я}+U'_{з}-U'_{я}=U'_{з},$$

которые и определяют яркость изображения в основных цветах.

При многочисленных преобразованиях сигналов возможны нарушения необходимых соотношений как между уровнями цветоразностных сигналов, так и каждого из них по отношению к яркостному сигналу при поступлении их на электроды кинескопа. С целью восстановления требуемого баланса между этими сигналами в телевизоре производится регулировка, называемая матрицированием. Матрицирование осуществляют по сигналу цветных полос (см. рис. 39), формируемых на телевизионном центре. При этом добиваются правильного воспроизведения цветов на всей площади экрана регулировкой цветоразностных сигналов на модуляторах кинескопа и яркостного сигнала.

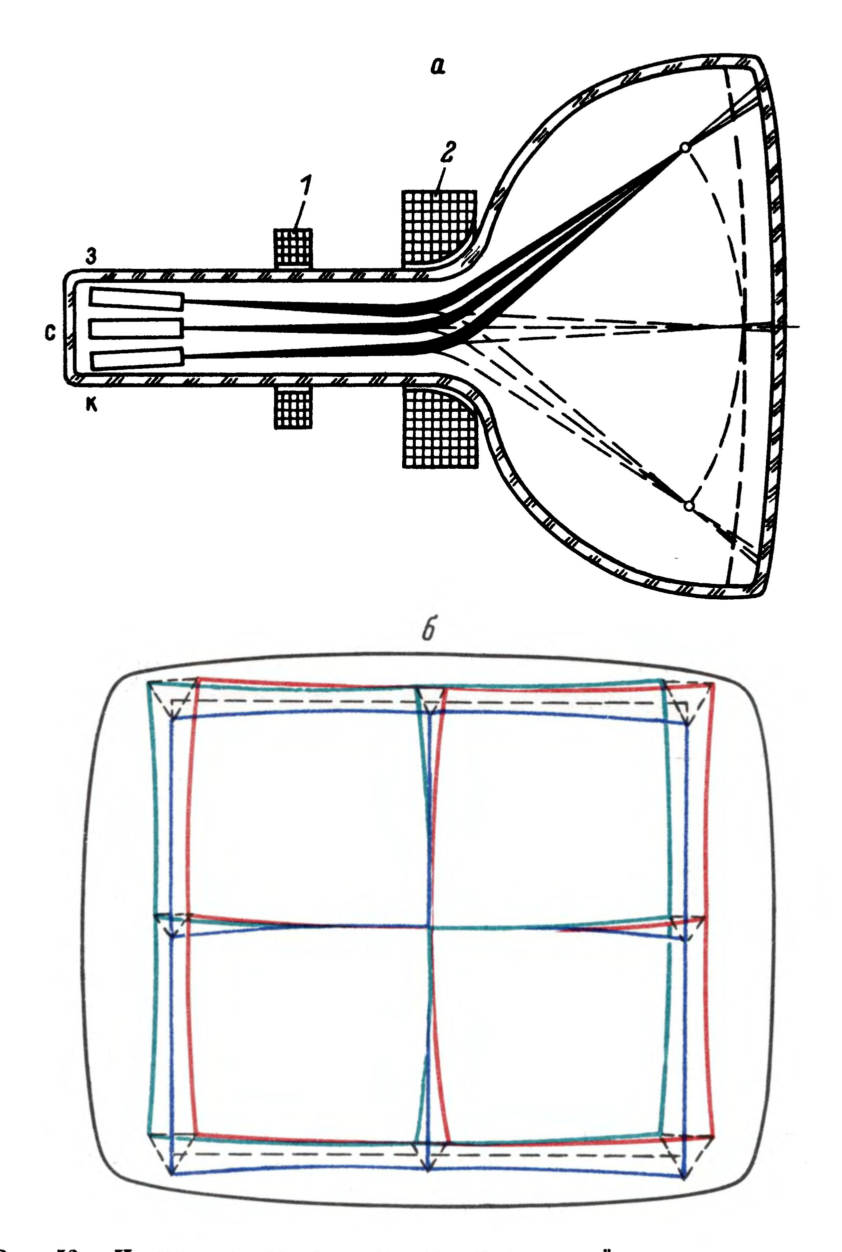


Рис. 52. Искажения растра, вносимые конструкцией цветного кинескопа.

а — ход лучей в масочном кинескопе: *1* — система динамического сведения, *2* — отклоняющая система; *б* — границы трех растров без коррекции.

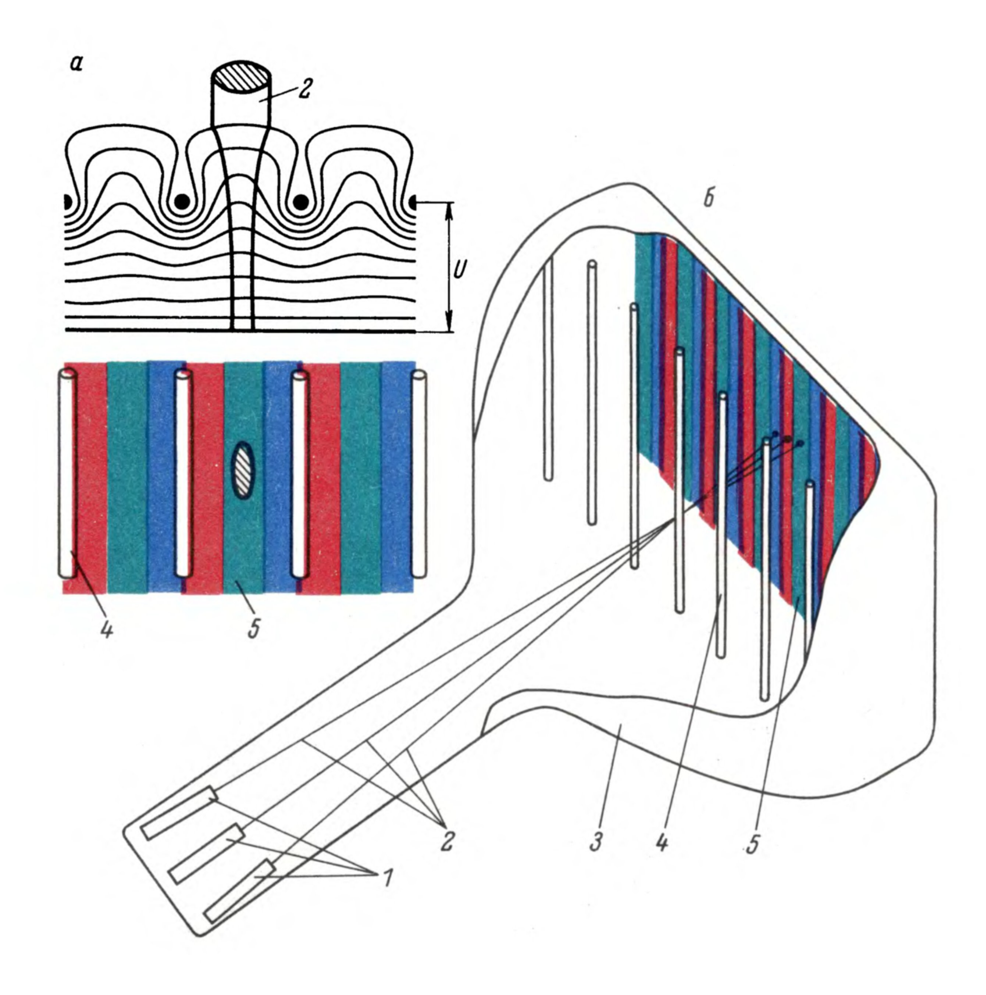


Рис. 57. Устройство трехлучевой трубки со штриховым экраном и фокусирующей сеткой.

а — принцип фокусировки электронного пучка; *б* — устройство трубки; *1* — электронные пушки; *2* — электронные пучки; *3* — колба; *4* — фокусирующая сетка; *5* — штриховой экран.

Развертывающие устройства для цветного трехлучевого кинескопа. Из-за наличия трех электронных пушек велик диаметр горловины цветного кинескопа, а чем он значительнее, тем больше должна быть требуемая мощность для отклонения электронных пучков, которая возрастает также с увеличением скорости движущихся электронов. Развертывающие устройства дополнительно нагружаются схемой динамического сведения пучков. Источником ускоряющего напряжения является выпрямитель, питаемый импульсами высокого напряжения, создаваемыми выходным каскадом строчной развертки. На выходе высоковольтного выпрямителя обычно имеется стабилизатор высокого напряжения, в цепь которого также ответвляется часть общего тока выходного каскада строчной развертки. Часть энергии выходных каскадов расходуется и в цепях коррекции подушкообразных искажений. Кроме того, энергия выходных каскадов идет также на питание отклоняющих катушек постоянным током с целью центровки растра. Этими и некоторыми другими причинами объясняются бо́льшие сложность и мощность выходных каскадов развертывающих устройств цветных телевизоров по сравнению с выходными каскадами развертывающих устройств черно-белых телевизоров.

Для питания отклоняющих катушек необходимо использовать пилообразные токи (рис. 54, *а*). Принцип действия генераторов, питающих пилообразным током отклоняющие катушки, основан на том, что при подключении к индуктивности L источника питания с постоянным напряжением ток в индуктивности возрастает по линейному закону (рис. 54, *б*). При размыкании ток спадает также линейно. В действительности отклоняющие катушки кинескопа обладают, помимо индуктивного, еще и активным сопротивлением R (рис. 54, *в*). Тогда каждую пару отклоняющих катушек можно представить в виде последовательного соединения индуктивности и активного сопротивления. Для того чтобы по такой цепи протекал пилообразный ток, изменение напряжения источника во времени должно соответствовать сложному закону (рис. 54, *г*), являющемуся суммой пилообразного и прямоугольных напряжений. Такое управляющее напряжение вырабатывается устройством, состоящим из генератора коротких прямоугольных импульсов и цепи формирования управля-

ющего напряжения. Работой генератора кратковременных импульсов управляют синхронизирующие импульсы, выделяемые из полного телевизионного сигнала. В качестве генераторов кратковременных импульсов напря-

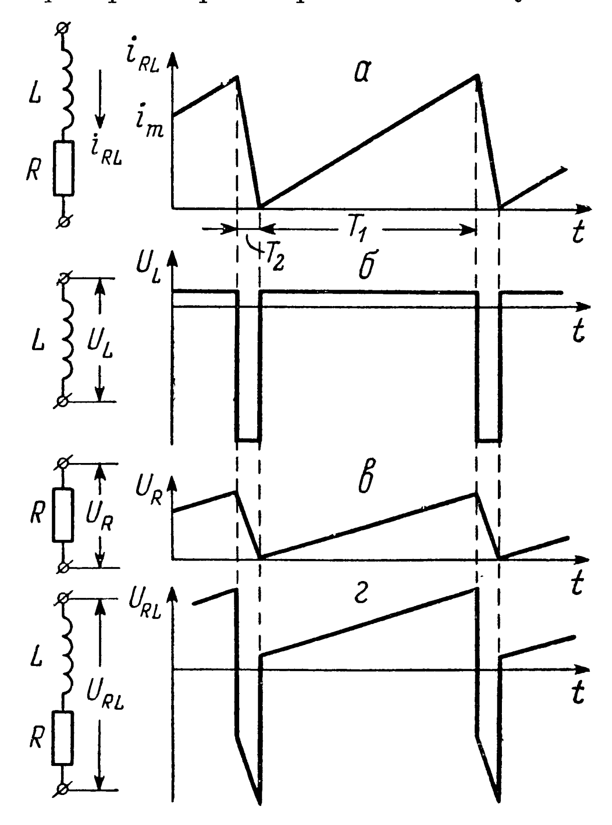


Рис. 54. Формы напряжений и тока для индуктивности и сопротивления.

а — пилообразный ток в *RL* цепи; *б* — напряжение на индуктивности; *в* — напряжение на сопротивлении; *г* — форма напряжения на последовательно включенных *R* и *L*.

жения в схемах вертикальной развертки обычно используют блокинг-генераторы, а в схемах горизонтальной развертки — мультивибраторы.

Электрическая схема выходного каскада генератора строчной развертки показана на рис. 55. Управляющее напряжение импульсно-пилообразной формы здесь подводится к управляющей сетке лучевого тетрода $Л_1$. Он отличается от ранее описанного триода наличием экранирующей сетки, на которую подается положительное напря-

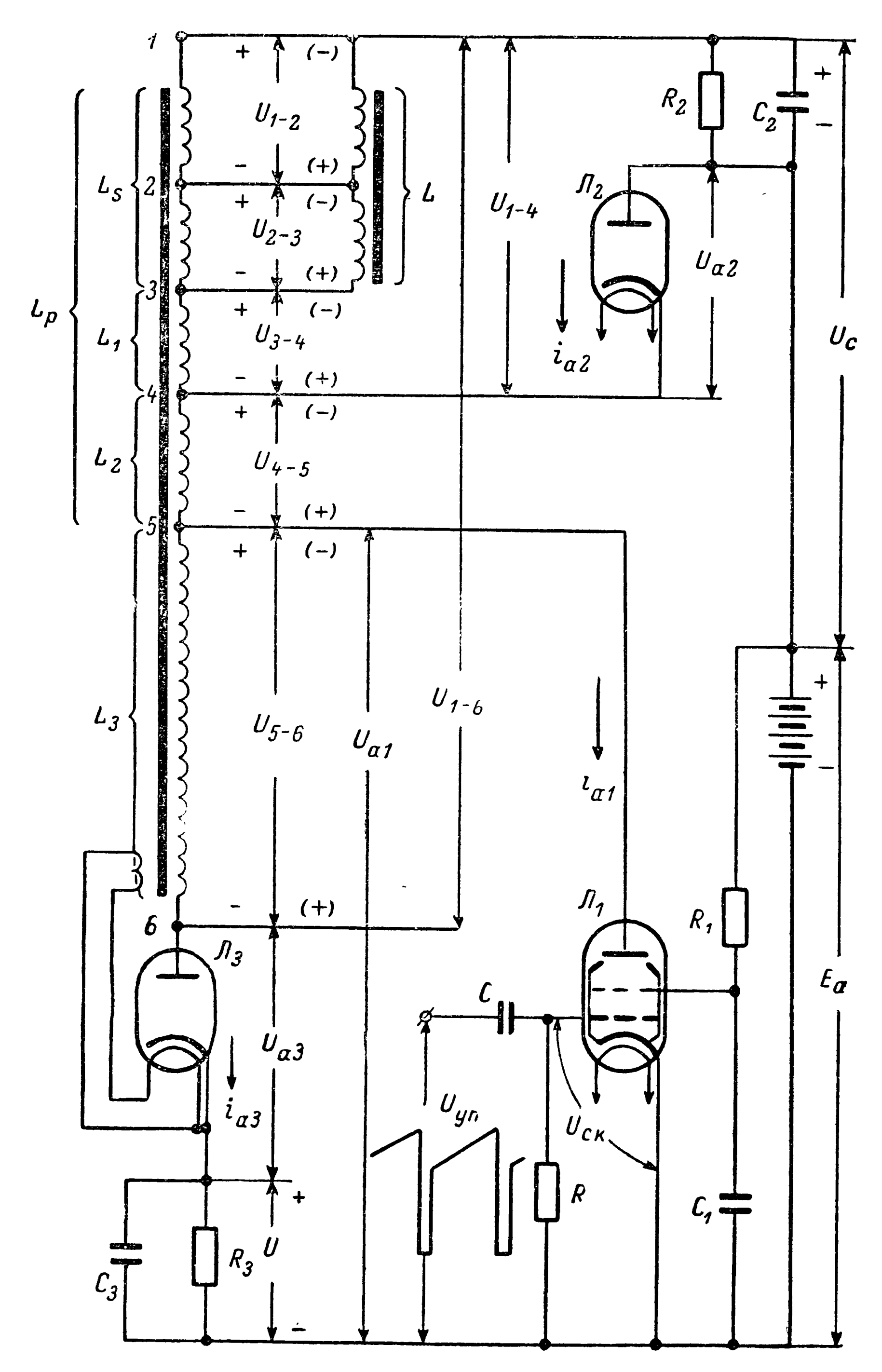


Рис. 55. Упрощенная схема выходного каскада строчной развертки.
1—6 отводы автотрансформатора.

жение, а также лучеобразующих пластин, соединяемых с катодом лампы. В анодную цепь тетрода включен автотрансформатор. К его отводам *1—3* подключены строчные отклоняющие катушки L, а к отводу *6* — анод высоковольтного выпрямительного диода $Л_3$.

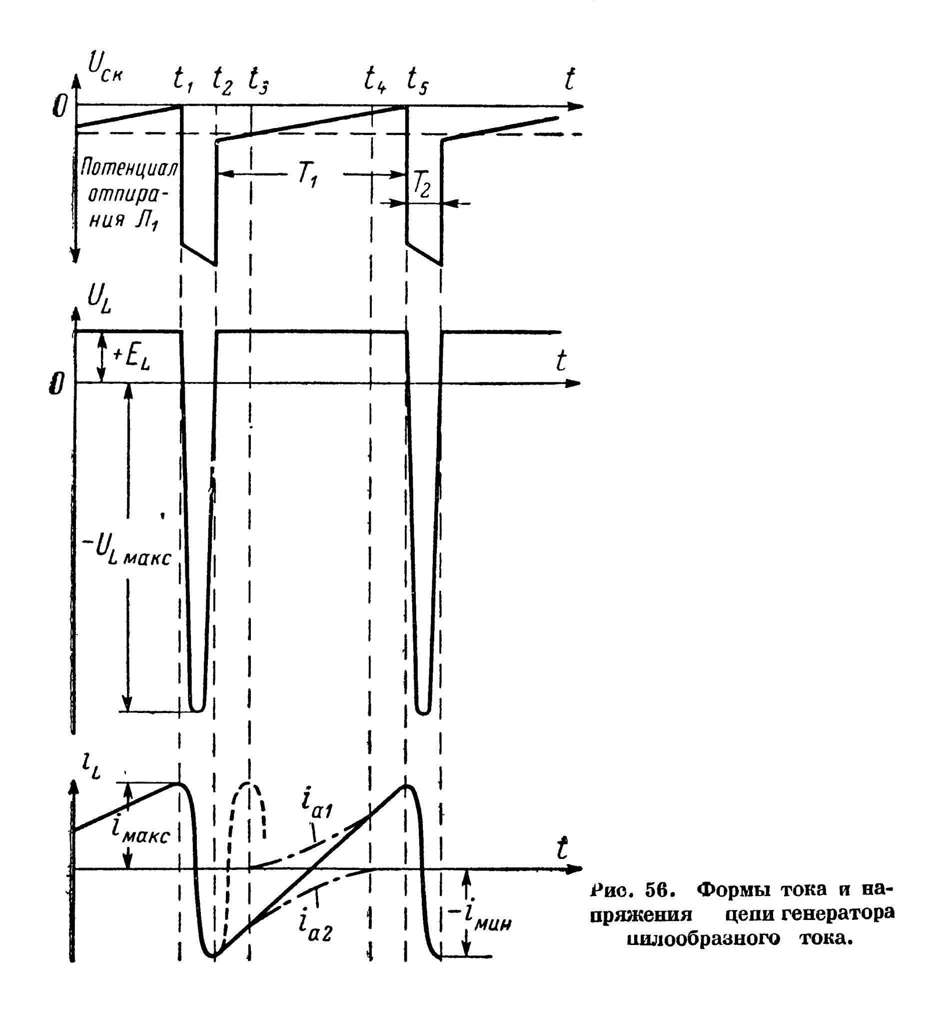


Рис. 56. Формы тока и напряжения цепи генератора пилообразного тока.

В интервале времени T_1 (рис. 56) нарастание импульсно-пилообразного управляющего напряжения увеличивает анодный ток тетрода и отклоняющих катушек, что приводит к отклонению электронных пучков кинескопа, совершающих прямой ход по строке. В интервале времени T_2 тетрод закрывается отрицательным выбросом управляю-

щего напряжения, и электронные пучки возвращаются в исходное положение к левому краю растра экрана, совершая обратный ход развертки. Ток через индуктивность L не может измениться скачком, несмотря на прекращение анодного тока тетрода. Изменение тока в отклоняющих катушках происходит постепенно и благодаря наличию распределенной емкости катушек индуктивности имеет колебательный характер. Из-за наличия активного сопротивления катушек индуктивности этот колебательный процесс носит затухающий характер. В период обратного хода развертки этот затухающий колебательный процесс мог бы вызвать искажения изображения, если бы в схему не был включен демпфирующий диод $Л_2$. В период T_2 диод этот заперт, так как к аноду приложено отрицательное напряжение (полярности падений напряжений на обмотках для периода T_2 показаны на рис. 55 в скобках, а для периода T_1 — без скобок). Когда напряжение на аноде диода $Л_2$ становится положительным, диод начинает проводить ток и гасит колебательный процесс (рис. 56, *пунктирные кривые*). Импульсы напряжения на обмотке трансформатора во время обратного хода достигают большой величины $U_{макс}$. Это объясняется тем, что напряжение на индуктивности пропорционально скорости изменения тока, которая в середине обратного хода является максимальной. Соответственно максимальным будет и всплеск напряжения в остальных обмотках трансформатора. Импульсное напряжение, возникающее на повышающей обмотке, подводится к высоковольтному выпрямителю. В его цепи используется высоковольтный диод с катодом прямого канала. Напряжение накала подается на диод $Л_3$ от понижающей обмотки трансформатора.

Как видно из рис. 56, в промежуток времени t_2—t_3 ток проводит только демпферный диод $Л_2$. В момент t_3 начинает отпираться управляющий тетрод $Л_1$. В течение времени t_3—t_4 работают обе лампы, и их токи являются частями общего суммарного пилообразного тока i_L. В интервале времени t_4—t_6 диод $Л_2$ заперт, и ток в цепях отклоняющих строчных катушек идет за счет тока управляющей лампы $Л_1$. В цепи демпферного диода включен конденсатор C_2, который заряжается за время работы диода. Выпрямленное напряжение на конденсаторе $U_{доб}$ суммируется с напряжением источника анодного питания, что повышает коэффициент полезного действия каскада.

Особенностью схем выходных каскадов строчной развертки цветных телевизоров является настройка высоковольтной цепи на третью гармонику колебаний, возникающих во время обратного хода. Это позволяет улучшить режим работы управляющей лампы, повысить величину высокого напряжения и уменьшить помехи в виде светлых вертикальных линий в левой части растра.

При смене содержания изображения, а также при регулировке яркости его происходит изменение напряжения на внутреннем сопротивлении высоковольтного выпрямительного диода $Л_3$, а соответственно изменяется и выходное выпрямленное напряжение. При этом меняются размеры растра и чувствительность по сведению электронных пучков. В результате при колебаниях ускоряющего напряжения изменяются как размеры трех растров основных цветов, так и характер сведения пучков по всей площади экрана. Эти явления подавляются стабилизацией ускоряющего напряжения, которая производится при помощи шунтового регулятора, действующего как переменная нагрузка на источник высокого напряжения.

Коррекция подушкообразных искажений, обусловленных нарушением пропорциональности между величиной тока катушек и величиной отклонения пучков, в цветных телевизорах производится модуляцией токов отклонения. С этой целью в цепи строчных и кадровых отклоняющих катушек включается корректирующий трансформатор, магнитная проницаемость сердечника которого нелинейно зависит от напряженности магнитного поля.

Специфические особенности выходных каскадов строчной развертки цветных телевизоров приводят к необходимости применения в них электронных ламп. Но в настоящее время уже внедряются схемы на мощных транзисторах.

Энергия, расходуемая в цепях отклонения по вертикали, значительно меньше энергии, расходуемой на отклонение по горизонтали. Это объясняется главным образом тем, что число отклонений пучков по вертикали примерно в z раз (число строк) меньше числа отклонений по горизонтали за 1 с. Поэтому выходные каскады генераторов кадровой развертки являются маломощными и свободно выполняются на транзисторах.

Трехлучевой кинескоп с фокусирующей сеткой называют трехлучевым хромат-

роном (рис. 57). Здесь число триад люминофоров равно числу элементов в одной строке изображения, т. е. порядка 500. Каждая триада представляет собой простирающиеся на всю высоту экрана вертикальные полоски люминофоров красного, зеленого и синего свечения. В качестве системы, фокусирующей электронные пучки на своих люминофорных триадах, используется фокусирующая сетка. Эта сетка устанавливается на расстоянии примерно 20 мм от экрана и представляет собой 600 параллельных проволочек диаметром 0.1 мм, натянутых на металлическую раму. Расстояние между проволочками сетки и ширина полосок люминофоров определяются размерами экрана. У одного из кинескопов ширина каждой полоски люминофора составляет 0.27 мм, а расстояние между проволочками равно 0.76 мм. При этом прозрачность сетки для электронных пучков оказывается равной 80%, т. е. она примерно в 5 раз выше, чем у трехлучевых кинескопов с теневой маской. Это позволяет в 5—6 раз уменьшить общий катодный ток электронных пушек. Соответственно упрощается устройство выходных каскадов строчной развертки и технология изготовления самих кинескопов.

Портативные телевизоры

Начиная с 1963 г. в различных странах начали изготавливать портативные цветные телевизоры. В первой модели использовалось совмещение изображений, воспроизводимых в основных цветах на экранах трех малогабаритных кинескопов. Затем появились цветные телевизоры с малогабаритными масочными кинескопами. Однако такие телевизоры имели большие размер и вес, потребляли много электроэнергии и были сложны в эксплуатации.

Характеристики портативности цветных телевизоров улучшены за счет применения трехлучевых цветных кинескопов с фокусирующей (а не теневой) маской и штриховым экраном, а также кинескопов с фокусирующей сеткой. Еще бо́льший эффект дало применение однопрожекторных хроматронов с послеотклонением электронного пучка.

В нашей стране специально для портативных цветных телевизоров создан малогабаритный однолучевой хроматрон типа 25ЛК1Ц, названный хромоскопом.

Глава 6

ЗАПИСЬ ЦВЕТНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

К настоящему времени разработано много методов консервации телевизионных программ, которые непрерывно совершенствуются и находят все большее применение в телевизионном вещании и прикладном телевидении. Более того, технически возможными и экономически доступными становятся запись и воспроизведение телевизионных изображений в домашних условиях.

Использование телевизионных программ, зафиксированных на том или ином носителе, вызвано целым рядом преимуществ. Так, например, интересные и важные события часто происходят вне времени телевизионной передачи или в местах, отдаленных от телевизионных студий, поэтому их необходимо своевременно зафиксировать. В телевизионные натурные постановки нередко включают куски записанных программ с целью упрощения технических условий передачи. Кроме того, желательно иметь возможность повторения программ.

При кабельной и радиорелейной связях между телецентрами видеозапись позволяет осуществить телевизионное вещание с задержкой во времени. Это очень важно, если города, между которыми происходит обмен программами, находятся в различных часовых поясах.

При использовании для телевизионных передач видеозаписей устраняются затраты на непосредственное повторное участие исполнителей телевизионных передач и, соответственно, исключаются расходы, связанные с эксплуатацией линий связи между городами, ибо телевизионный фильм можно переслать в любое место. При использовании видеозаписи телевизионных программ создаются широкие возможности монтажа последних.

Запись цветных телевизионных изображений на кинопленку

С экрана воспроизводящего телевизионного устройства запись цветных телевизионных изображений производится фотографически, с помощью киносъемочного аппарата. В отличие от обычного фотографирования здесь нет одновременного фотографирования отдельных элементов изображения. На экране кинескопа в каждый данный момент существует лишь три малых световых пятна в трех основных цветах, обладающих своими яркостями. Эта триада пятен быстро перемещается по экрану, изменяя при этом свою яркость.

При записи телевизионных программ с экрана кинескопа с полным числом строк необходимо установить правильное согласование действия киносъемочного аппарата с циклом телевизионной развертки. Время стояния и передвижения кинопленки в обычном киносъемочном аппарате не соответствует времени развертки телевизионного кадра и времени обратного хода трех электронных пучков между отдельными телевизионными полукадрами. Для нормальной экспозиции всего телевизионного кадра необходимо, чтобы съемочное окно освещалось во время разложения обоих телевизионных полей. На протягивание пленки при этом условии отводится лишь время обратного хода одного из полей, т. е. около 2 мс. Это время примерно в 20 раз меньше времени протягивания пленки в обычных кинопроекторах. Следовательно, обычная киносъемочная камера, работающая синхронно с кадровой разверткой, не позволяет записать целиком все изображение с экрана кинескопа. Поэтому были разработаны различные системы киносъемки телевизионных изображений, каждая из которых может быть отнесена к одному из двух видов записи: запись телевизионных изображений с непрерывным движением кинопленки и запись при прерывистом движении кинопленки. При этом цветное телевизионное изображение записывается либо на одну цветную кинопленку, либо на три черно-белые кинопленки с применением соответствующих светофильтров.

Одним из методов записи телевизионных программ является запись на кинопленку не самого изображения, а сигналов изображения.

Главный недостаток упомянутых методов консервации телевизионных программ заключается в необходимости фотохимической обработки полученной после записи кинопленки.

Запись телевизионных сигналов на магнитную ленту

Ежедневно в течение многих часов телевизионные передачи идут в записи на магнитную ленту. Быстро растет число видеомагнитофонов индивидуального пользования. На магнитной ленте запись сигналов изображений получается практически мгновенно, а задержка между записью и воспроизведением определяется только конструкцией видеомагнитофона и не зависит от свойств ленты. Магнитная лента до записи и после нее не требует химической или какой-либо другой обработки. Однажды сделанная запись может сохраняться неограниченно долго и воспроизводиться до нескольких сотен раз.

Сущность рассматриваемого метода заключается в том, что изменение величины телевизионного сигнала во времени фиксируется вдоль длины магнитной ленты в виде изменения остаточной намагниченности. Основой магнитной ленты служит какой-либо эластичный материал, на который наносится носитель, способный сохранять остаточную намагниченность. Наибольшее распространение получили носители в виде слоя лака, содержащего ферромагнитный порошок (окись железа или двуокись хрома).

Такие магнитные материалы как бы состоят из элементарных магнитиков-доменов. В обычных условиях домены расположены хаотически, и ферромагнитный материал не проявляет своих свойств, но стоит ему попасть в магнитное поле, как картина резко меняется. Домены поворачиваются в направлении поля и устанавливаются параллельно магнитным силовым линиям, пронизывающим материал. По мере увеличения напряженности магнитного поля все больше элементарных магнитов ориентируется в направлении поля. При определенной напряженности происходит магнитное насыщение — все магнитики устанавливаются параллельно силовым линиям поля. Лишь при наличии поля обратного направления удается полностью размагнитить ферромагнетик. Ве-

личина напряженности поля, при которой исчезает намагниченность материала, называется коэрцетивной силой.

Электрические сигналы, подлежащие записи, подводятся к обмотке магнитной записывающей головки (рис. 58, *а*) — специально сконструированному электромагниту. Мимо зазора записывающей головки протягивается магнитная лента. Значение напряженности магнитного поля в зазоре сердечника головки пропорционально значению телевизионного сигнала в соответствующие моменты времени, благодаря чему сигналы изображения фиксируются на ленте в виде магнитного рельефа (поразному намагниченных участков ленты).

При считывании записанных сигналов намагниченная лента движется мимо воспроизводящей головки (в видеомагнитофонах как для записи, так и для воспроизведения видеосигнала обычно используются одни и те же видеоголовки). Силовые линии магнитного потока элементарных намагниченных участков движущейся ленты пересекают обмотку головки и наводят в ней эдс, пропорциональную напряженности остаточного магнитного поля. Затем восстановленный телевизионный сигнал подводится либо к телевизионному воспроизводящему устройству, либо к телевизионному радиопередатчику.

Основная трудность создания высококачественной записывающей и воспроизводящей аппаратуры в телевидении связана с широким спектром частот сигнала изображения, так как он требует значительного увеличении скорости передвижения магнитной ленты по сравнению со скоростью при записи и воспроизведении звуковых сигналов. В свою очередь это приводит к большой длине магнитной ленты для записи телевизионных программ.

Для правильного отображения при записи закона изменения видеосигнала нужно, чтобы за время перемещения ленты в области, где действует магнитное поле рассеяния записывающей головки, видеосигнал практически не изменялся. Сопоставив размеры области действия поля с промежутком времени, в течение которого видеосигнал остается постоянным, можно найти необходимую скорость перемещения носителя. Предположим, что протяженность поля, определяемая размерами зазора магнитной головки и свойствами магнитной ленты, $l=0.1$ мм. Можно допустить, что видеосигнал остается неизменным в течение полупериода высшей частоты. Если принять

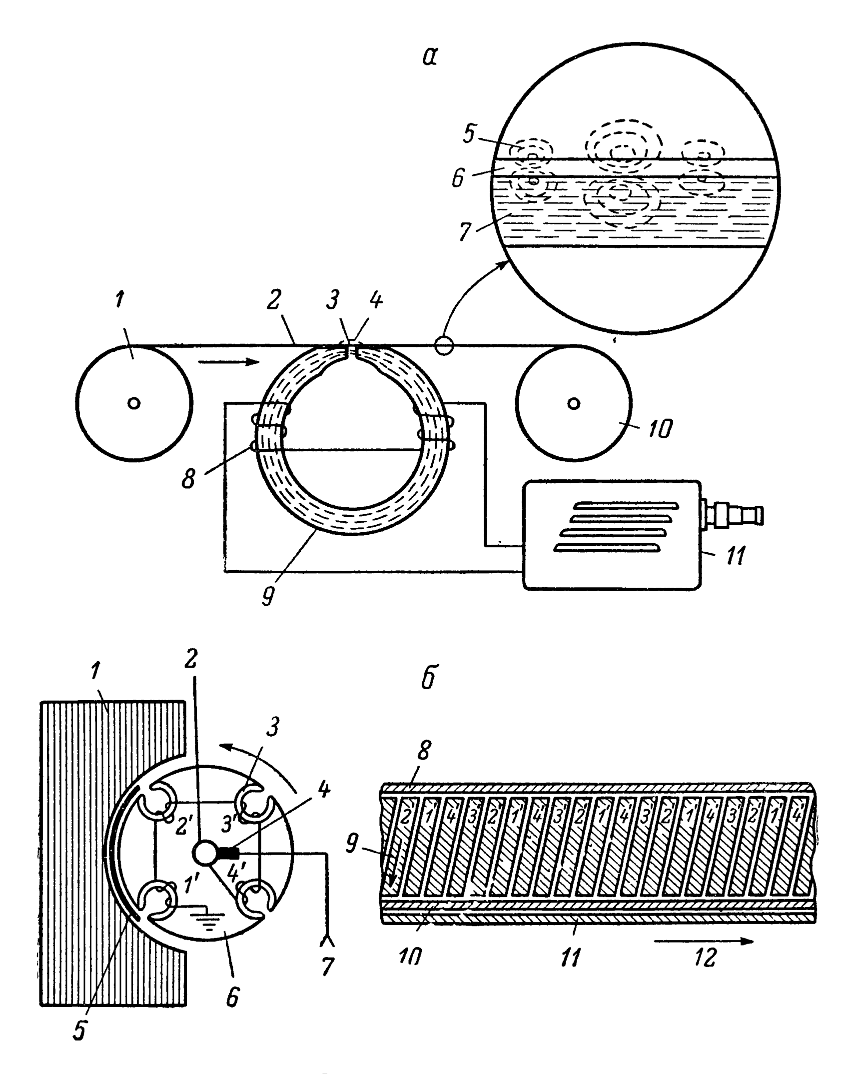


Рис. 58. Запись сигналов изображения на магнитную ленту.

а — схема аппарата для записи; *1* — подающая кассета, *2* — магнитная лента, *3* — пишущее магнитное поле, *4* — рабочий зазор, *5* — силовые линии остаточного магнитного поля, *6* — магнитный слой, *7* — основа, *8* — обмотка, *9* — сердечник головки записи, *10* — приемная кассета, *11* — передающая телевизионная камера (или телевизор); *б* — схема поперечно-строчной записи телевизионных сигналов четырьмя вращающимися головками 1'—4'; *1* — прижимное устройство, *2* — контактное кольцо, *3* — одна из магнитных головок, *4* — щетка, *5* — магнитная лента, *6* — диск, *7* — сигнал изображения, подлежащий записи, *8* — звуковая дорожка, *9* — направление записи, *10* — дорожка для пояснений режиссера, *11* — дорожка управляющих сигналов, *12* — направление движения ленты.

последнюю за 6.5 МГц, то длительность полупериода составит 0.5 T=0.077 мкс. Значит, скорость ленты должна достигать практически неосуществимого значения $v=l/0.5\ T=1.3$ км/с. Для записи одночасовой телевизионной программы потребовалась бы магнитная лента длиной 4700 км.

Уменьшение скорости движения ленты достигается с помощью магнитных головок с малым зазором, магнитных лент с улучшенными свойствами, а также за счет использования магнитной ленты не только по длине, но и по площади. При этом плотность записи увеличивается за счет уменьшения ширины магнитных дорожек и расположения их плотно одна возле другой. Последнее условие осуществляется различными способами. В некоторых системах запись производится на нескольких дорожках вдоль длины ленты несколькими записывающими головками. Для широкого применения наиболее пригодны системы, в которых сигналы записываются не по длине ленты, а по ее ширине с помощью вращающихся головок. При этом достигается сочетание низкой скорости протяжки самой ленты, что удобно в эксплуатации, и высокой скорости ленты относительно записывающей головки, что необходимо для записи и воспроизведения колебаний высоких частот (рис. 58, *б*). По ширине ленты запись осуществляется с помощью четырех головок, укрепленных на одинаковом угловом расстоянии друг от друга на вращающемся диске-роторе. Как только первая головка после записи сходит с ленты, следующая головка начинает запись с противоположной стороны ленты и т. д.

Однако видеомагнитофон с четырьмя головками представляет собой довольно сложное устройство. Поэтому большое внимание было уделено разработке систем с одной и двумя вращающимися головками.

В видеомагнитофоне с одной вращающейся головкой (рис. 59) дорожка с записью управляющего сигнала используется в системе автоматического регулирования, которая служит для точного совмещения (во время воспроизведения) видеоголовки с магнитными дорожками, содержащими запись видеосигнала. Сигналы одного поля изображения записываются на одной наклонной магнитной дорожке. Во время записи кадровый гасящий импульс совмещается с моментом прохождения видеоголовкой

участка, на котором она переходит с одной дорожки на другую. Поэтому при воспроизведении теряется только часть этого импульса.

В видеомагнитофоне с двумя вращающимися головками лента лежит на барабане спиралью, охватывая его более

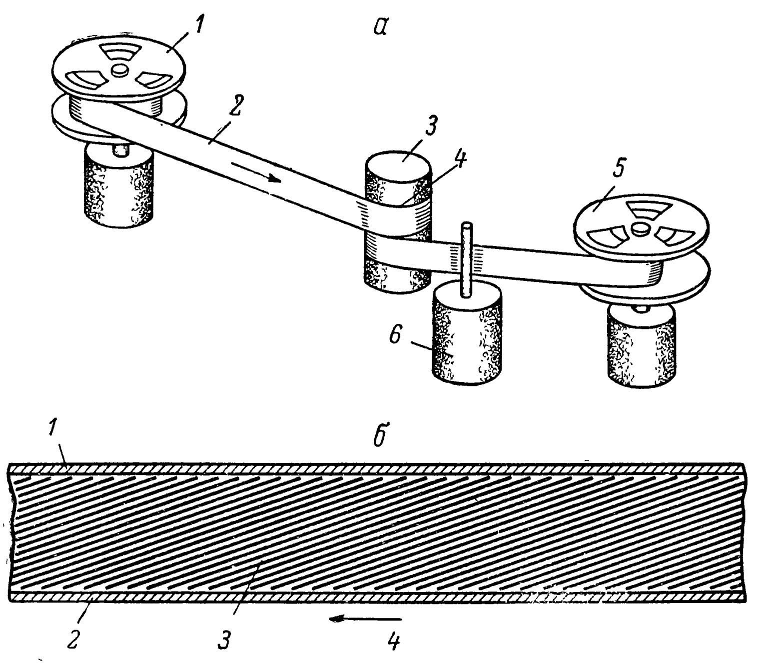


Рис. 59. Принцип действия видеомагнитофона с одной вращающейся головкой.
а — схема видеомагнитофона: *1* — подающая катушка, *2* — магнитная лента, *3* — направляющий барабан, *4* — диск с видеоголовкой, *5* — приемная катушка, *6* — ведущий электродвигатель; *б* — лента с магнитными дорожками: *1* — звукового сопровождения, *2* — управляющих сигналов, *3* — видеосигналов, *4* — направление движения ленты.

чем на 180°. Сигналы на стыке двух смежных магнитных дорожек здесь перекрываются, в результате чего воспроизводится непрерывный сигнал.

Видеомагнитофон с четырьмя вращающимися головками используется в профессиональных целях. Видеомагнитофоны с одной и двумя головками применяются для любительской записи в домашних условиях, в прикладном телевидении и для вспомогательных целей на телевизионных центрах.

В отечественном видеомагнитофоне «Кадр-3», предусматривающем запись и воспроизведение сигналов системы

цветного телевидения, используется способ наклонно-строчной записи четырьмя вращающимися видеоголовками на ленте шириной 50.8 мм. Скорость движения ленты составляет приблизительно 39.7 см/с. Диск видеоголовок закреплен на валу гистерезисного электродвигателя, скорость вращения которого равна 15 000 об./мин. Аппаратные видеозаписи оборудуются не менее чем двумя видеомагнитофонами. Во время воспроизведения программ, как правило, работают синфазно два магнитофона, один из которых является резервным на случай неисправности или ухудшения качества изображения на основном видеомагнитофоне.

В течение одной секунды передается 15 625 строк, записываемых на магнитной ленте длиной 39 см в виде 1000 магнитных дорожек. Ширина каждой дорожки равна 0.25 мм, а расстояние между ними составляет 0.14 мм. Магнитная дорожка длиной 40 мм содержит запись 15 625/1000=15.6 телевизионной строки, а одной телевизионной строке соответствует часть магнитной дорожки длиной 2.56 мм. Для записи полного телевизионного кадра требуется 40 дорожек магнитной записи, которые располагаются в пределах длины магнитной ленты, равной 15.9 мм.

В видеомагнитофонах с наклонно-строчной записью используют частотную модуляцию колебаний несущей частоты видеосигналом. При записи сигналов цветного телевидения уровням вершин синхроимпульсов соответствует частота 7.16 МГц, уровню черного — 7.8 МГц, а уровню белого — колебания частоты 9.3 МГц. Частотная модуляция при записи видеосигналов позволяет ослабить паразитную амплитудную модуляцию, улучшить воспроизведение низкочастотного спектра видеосигналов, уменьшить взаимное влияние между смежными магнитными дорожками благодаря переносу спектра видеосигнала в область более высоких частот. Последнее позволяет сократить расстояние между смежными магнитными дорожками и тем самым улучшить использование поверхности магнитной видеоленты.

Кассетные и патронные видеомагнитофоны. Во многих странах широкое применение находят кассетные видеомагнитофоны, позволяющие телезрителям по своему выбору просматривать телевизионные программы, записанные на магнитной ленте. Достоинством

их является предельное упрощение эксплуатации. Основная идея таких аппаратов заключается в том, что зритель не производит зарядку ленты в лентопротяжный тракт. Эта операция производится автоматически. Для воспроизведения записи достаточно установить видеокассету в гнездо и включить связанный с видеомагнитофоном телевизор. Видеокассета представляет собой закрытую невскрываемую плоскую коробку. В ней установлены две катушки: одна с видеолентой, а другая, играющая роль приемной катушки, — пустая. Коробка имеет посадочные отверстия, через которые передаются вращающие усилия на катушки и устанавливается контакт между лентой и головками, находящимися в видеомагнитофоне.

По принципу действия современные кассетные видеомагнитофоны аналогичны видеомагнитофонам с наклонно-строчной записью. Видеосигнал преобразуется с помощью частотной модуляции. Цветовые сигналы выделяются из общего видеосигнала и передаются в тракте на своей поднесущей частоте, а записываются на ленте в спектральном окне ниже частоты, модулированной яркостным сигналом.

В патронном видеомагнитофоне используют коробку только с одним роликом. Недостаток магнитофона заключается в том, что он не может быть разряжен, пока лента не будет перемотана в коробку-патрон.

Видеозапись на магнитной пластинке

Определенное внимание уделяется созданию доступных устройств, позволяющих воспроизводить на телевизионном экране изображение при помощи считываемых с магнитных пластинок видеосигналов. Запись сигналов цветного телевидения и звукового сопровождения производится на диске, покрытом магнитным носителем (дисковые видеомагнитофоны). Пластинка приводится во вращение специальным устройством со скоростью порядка 1500 об./мин. Преимуществом такой записи является возможность замедленного воспроизведения (до полной остановки) кадра, что часто используется при спортивных передачах. К недостаткам относится ограниченная продолжительность записи.

Запись и считывание электронным пучком

При помощи электронных пучков можно записывать информацию при таких рабочих полосах частот и плотностях записи, которые позволяют значительно превзойти соответствующие показатели описанных методов записи. Под электронно-лучевой записью понимают такие методы записи, при которых электронный пучок (или электронное облако) либо вносит изменения в физические свойства носителя информации, либо подготавливает этот материал к изменениям, производимым другими способами. Существует множество методов электронно-лучевой записи, основанных на химическом, тепловом, механическом, магнитном или электростатическом воздействиях электронного пучка на носитель. Возможно и комбинированное воздействие на носитель. Рассмотрим один из них.

З а п и с ь на г а л о и д о - с е р е б р я н ы й н о с и т е л ь. В этой системе запись телевизионных изображений осуществляется на кинопленку с помощью модулированного видеосигналом электронного пучка. Исследования показали, что ряд малочувствительных к свету мелкозернистых фотослоев оказывается хорошо чувствительным к электронным потокам. После экспозиции электронным пучком запись представляет собой скрытое изображение, аналогичное тому, которое бывает на непроявленной пленке, экспонированной лучами света. Экспонированная пленка вынимается из аппарата и обрабатывается, как и обычная фотопленка. В результате на ней появляется изображение, состоящее из растра граничащих друг с другом строк, соответственно промодулированных по плотности. Ширина строки растра составляет 6—12 мкм. Считывание записанных сигналов производится оптическими методами, например при помощи развертки бегущим световым пятном. На выходе фотоэлектронного умножителя получают электрический сигнал изображения.

Запись непосредственно на кинопленку электронным пучком по сравнению с системами записи с экрана кинескопа обладает такими преимуществами, как отсутствие дополнительного преобразования энергии электронов в свет и отсутствие оптической системы для переноса изображения с экрана кинескопа на экспонируемую кино-

пленку. Это позволяет получить высокую плотность записи и высокую энергетическую эффективность.

Запись на кинопленку электронным пучком происходит в записывающей камере, в которой во время записи поддерживается разрежение порядка 10^{-5} мм рт. ст. Электронные прожекторы находятся в отдельной камере, где требуемое разрежение создается при помощи отдельной вакуумной системы, состоящей из форвакуумного и диффузионного насосов. Электронные пучки выводятся из прожектора через шлюзы очень малого размера. Они открываются только при уравнивании разрежений в записывающей камере и камере с электронными прожекторами. Вся вакуумная система соединена с помощью манометрических датчиков с логическим электронным устройством, управляющим работой вакуумной системы. Размеры одного кадра составляют на пленке 2.5×3.3 мм. В каждом кадре записываются сигналы четного и нечетного телевизионных полей. С этой целью создают видеосигналы, задержанные на одно поле.

Входной сигнал, подлежащий записи, разделяется на яркостную и цветовую составляющие. После определенной обработки этот сигнал модулирует электронный пучок одного прожектора. Цветовой сигнал после соответствующей обработки подводится для записи ко второму электронному прожектору.

Голографическая запись сигналов цветного телевидения

Голографическая запись осуществляется несколькими этапами (рис. 60, *а*). Вначале производят запись телевизионного сигнала на кинопленку электронным пучком. При этом телевизионный сигнал разделяется на две составляющие — яркостную и цветовую, которые записываются на пленке раздельно в виде вертикальных штрихов. После проявления пленки на ней остается запись цветового телевизионного сигнала в виде трех видов вертикальных полос. Яркостный сигнал записывается на полосках шириной 25 мкм, на полосках в 90 мкм располагается информация синего канала, а на полосках в 60 мкм — информация красного канала.

Далее проявленная пленка с закодированными на ней сигналами цветной телевизионной программы использу-

ется для создания голограммы на специальной пленке, поверхностный слой которой представляет собой фотосопротивление (фоторезист).

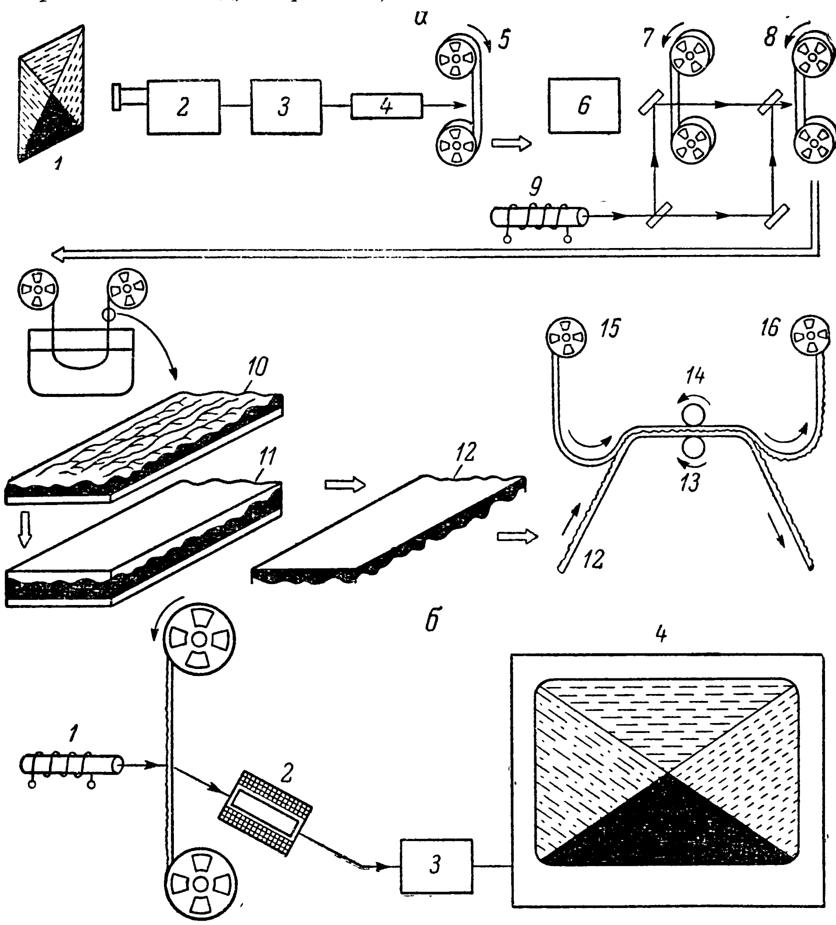


Рис. 60. Голографическая запись сигналов цветного телевидения.

а — схема записи: *1* — цветной объект, *2* — цветная передающая камера, *3* — цветное кодирующее устройство, *4* — электронный прожектор, *5* — кинофотопленка, *6* — обработка пленки, *7* — обработанная пленка, *8* — пленка, покрытая фотосопротивлением, *9* — лазер, *10* — фотосопротивление, *11* — никель, *12* — никелевая матрица, *13* — ролик-подогреватель, *14* — прижимной ролик, *15* — виниловая пленка, *16* — виниловая копия; *б* — воспроизведение сигналов: *1* — лазер, *2* — видиконная камера, *3* — декодирующее устройство, *4* — цветной телевизор.

Обе пленки (с первичной записью видеосигнала и со слоем фоторезиста) протягиваются параллельно друг другу. Для создания голограммы используется луч ла-

зера, который расщепляется на две составляющие. Одна составляющая пучка проходит через оригинал, а затем попадает на пленку с фоторезистом. Другая составляющая (опорный луч) проходит на фоторезистивную пленку, минуя оригинал. Система разделения лазерного пучка и отражающие зеркала расположены так, чтобы оба луча, пройдя одинаковые расстояния, попали в соответствующую точку фоторезистивной пленки. При этом на фоторезистивной пленке создается интерференционный растр, соответствующий оригиналу, который и является голограммой. Свет, идущий от лазера, размягчает фотосопротивление: чем больше интенсивность суммы световых пучков, тем мягче становится фоторезистивная пленка в данной точке и при дальнейшей обработке тем легче с этого участка удаляется фоторезист. Фоторезистивная пленка обрабатывается в ванне, наполненной едким натром. После чего на пленке остается рельеф, глубина впадин которого в среднем составляет 0.05 мкм, а расстояние между соседними выступами — порядка 1 мкм. Проявленная пленка, называемая голографическим оригиналом, покрывается электролитическим способом слоем никеля толщиной около 150 мкм.

Никелевая пленка, отделенная от голографического оригинала, используется в качестве матрицы в процессе размножения копий. Для этого в контакт с никелевой пленкой приводится виниловая пленка. Никелевая и виниловая пленки проходят через два ролика: верхний является прижимным, а нижний — нагревательным. При этом на виниловой ленте остается отпечаток голограммы.

Голограмма на виниловой пленке может быть использована для воспроизведения цветного телевизионного изображения. Для этого телезритель должен располагать специальной приставкой к телевизионному приемнику, состоящей из лазера и передающей телевизионной камеры (рис. 60, *б*). Лазерный луч, направленный на пленку, восстанавливает изображение на голограмме. Это изображение попадает на мишень видикона, который смещен от оси лазера таким образом, чтобы на его мишень одновременно с восстановленным изображением не попадало изображение самой голограммы. С выхода видикона сигнал поступает на декодирующее устройство, восстанавливающее цветовой сигнал.

Основные достоинства такой системы заключаются в простоте изготовления копий и определенной независимости качества изображения от износа ленты с записью.

Механическая видеозапись на пластинках

До недавнего времени считалось, что наивысшая частота колебаний, которые можно записать на пластмассовом диске, составляет 80 кГц. Однако исследования показали, что возможна запись и воспроизведение колебаний с частотами до 3 МГц и выше. Благодаря прогрессу в области электроники, точной механики и оптики в некоторых странах мира видеопластинки и воспроизводящая аппаратура начали поступать в продажу для населения. На видеопластинках записывают учебные лекции, мультфильмы и художественные фильмы.

Во время записи на диске вырезается спиральная канавка, форма которой изменяется в соответствии с записываемыми сигналами. Для уплотнения записи имеются две возможности: сокращение шага записи (расстояния между линиями симметрии соседних канавок) и сокращение расстояния между соседними отклонениями внутри канавки (уменьшение длины волны записи). Пропорционально уменьшению длины волны записи уменьшаются и поперечные размеры канавки, что обеспечивает возможность увеличения плотности канавок вдоль радиуса пластинки. Первые видеопластинки имели 280 канавок на 1 мм при амплитуде записи 0.2 мкм. В настоящее время используется глубинная запись, при которой резец совершает колебания в направлении, перпендикулярном поверхности носителя. В результате образуется канавка, глубина которой изменяется в соответствии с записываемым сигналом. В соответствии с записью частотно-модулированного видеосигнала колебания разных частот записываются с одинаковыми амплитудами, а канавки располагают вплотную друг к другу. В зависимости от яркости видеосигнала меняется расстояние между соседними впадинами и возвышениями, т. е. меняется длина волны записи. Сигналы звукового сопровождения записывают в составе полного видеосигнала.

При записи сигналов цветного телевидения к основному черно-белому телевизионному сигналу добавляют в зако-

дированном виде цветовые сигналы. Непосредственная запись сигналов, соответствующих используемым системам цветного телевидения, на видеопластинках невозможна ввиду того, что основная часть спектра цветовых сигналов в этих системах приходится на область 3—6 МГц, т. е. выходит за пределы полосы частот, записываемых на видеопластинках.

Видеопластинки изготовляют из поливинилхлоридной пленки (ныне широко используемой как упаковочный материал) способом быстрого штампования. Толщина видеопластинки составляет 0.1 мм, а ее диаметр — в пределах 21—30 см. Частота вращения при записи выбирается такой, чтобы одному обороту видеопластинки соответствовал полный телевизионный кадр. Кадровые и строчные синхронизирующие импульсы располагаются при этом вдоль радиусов.

За немногие годы развития рассматриваемой области техники, которые прошли со времени демонстрации видеопластинки в 1970 г., длительность воспроизведения увеличилась с 5 до 40 мин. Для просмотра полнометражных фильмов разрабатываются видеопроигрыватели с автоматической сменой видеопластинок.

Воспроизведение видеозаписей отличается от воспроизведения записей на грампластинках. При воспроизведении обычных грамзаписей игла обегает все изгибы бороздки записи, и связанный с иглой электромеханический преобразователь вырабатывает сигнал, соответствующий этим изгибам. Радиус острия иглы должен быть настолько мал, чтобы он мог вписываться в любое углубление в бороздке записи. Игла обладает массой, а следовательно, и определенной инерцией. Несколько эластичны края звуковой дорожки. На определенной высокой частоте, благодаря упомянутым свойствам иглы и бороздки, возникает резонансный пик, после которого амплитуда движения иглы резко уменьшается из-за ее инерционности. Наивысшая достижимая частота механических колебаний иглы лежит в пределах 50—80 кГц. Следовательно, обычный метод воспроизведения грамзаписей не может быть использован для воспроизведения видеопластинок. Кроме того, радиус острия иглы для воспроизведения должен бы быть равен 1 мкм, что соответствовало бы острию лезвия бритвы и приводило бы к быстрой порче пластинки.

Для воспроизведения колебаний высоких частот видеозаписи датчик перемещения был заменен датчиком давления. Во избежание повреждения видеопластинки острием иглы датчик снабжен щупом, который контактирует с видеопластинкой на такой же большой площади, как при обычном воспроизведении грампластинок. Для изготовления щупа используют износостойкий материал (сапфир или алмаз). При воспроизведении записи щуп одновременно захватывает несколько вершин волн записи (рис. 61, *а*) и приводит к их эластичной деформации. Различия высоты в бороздке при этом преобразуются в различия давления на щуп, которое пропорционально величине записанного сигнала. Плавное закругление на передней стороне щупа позволяет ему скользить по вершинам волн записи, не разрушая их. При этом на щуп действуют постоянная сила и переменная сила, возникающая в момент прохождения вершины волны острой гранью щупа и соответствующая записанному сигналу. Датчик выделяет из полученной щупом информации только ту часть, которая воспринимается острой гранью щупа, т. е. выделяет информацию об изменении давления.

Полозообразный щуп жестко связан с пьезокерамическим блоком, служащим преобразователем механических колебаний в электрические сигналы. С помощью эластичного промежуточного слоя все устройство укреплено на жесткой трубке.

Видеопроигрыватель (рис. 61, *б*) отличается от проигрывателя грампластинок следующими особенностями. Датчик следует за бороздками не свободно, а принудительно с помощью специальной подачи. За один оборот диска датчик смещается по радиусу на 8 мкм. Требуемая передача осуществляется при помощи гибкого тросика. Видеопроигрыватель не имеет вращающегося диска для видеопластинок. Изготовленная из пластмассовой пленки видеопластинка получает вращение от центрального стержня и благодаря разделяющей тонкой воздушной подушке вращается со скоростью 1500 об./мин. над неподвижным столом.

Перед поступлением на антенный вход телевизора воспроизведенный сигнал обрабатывается в электрическом канале видеопроигрывателя и преобразуется в стандартный телевизионный сигнал.

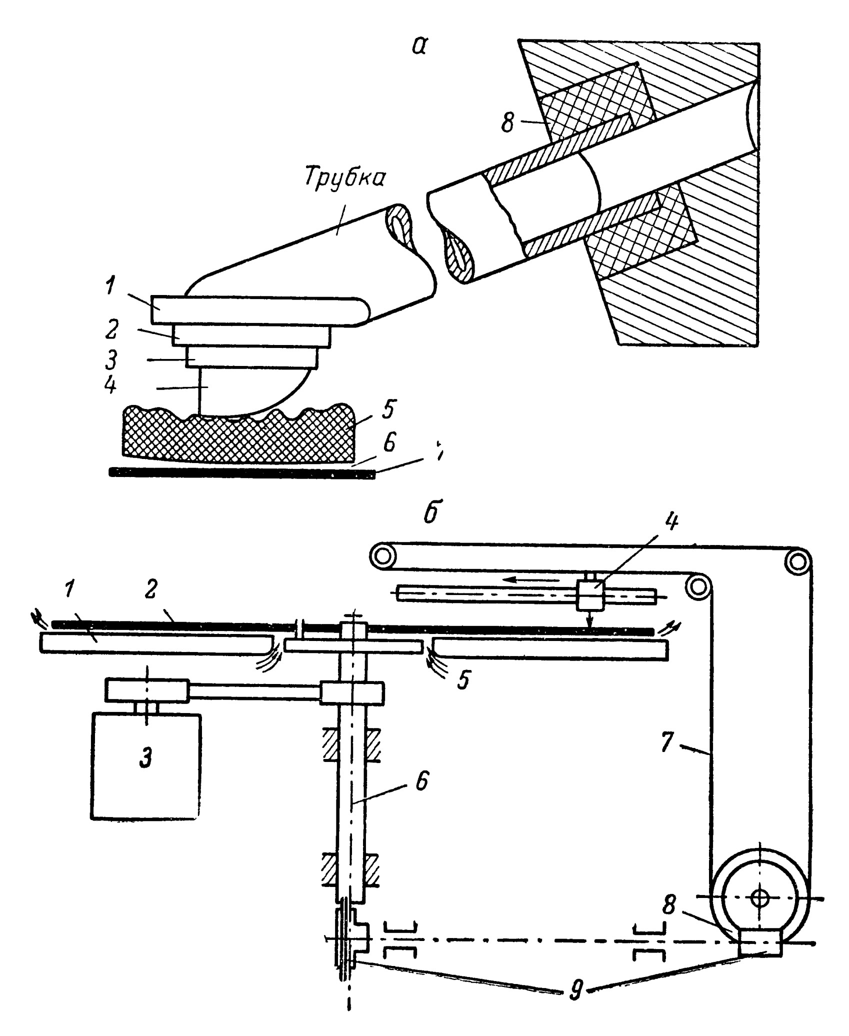


Рис. 61. Видеосниматель с датчиком давления и видеопроигрыватель с принудительной подачей щупа.

а — схема видеоснимателя: *1* — державка, *2* — эластичная прокладка, *3* — пьезокристалл, *4* — алмазный щуп, *5* — видеопластинка, *6* — воздушная подушка, *7* — стол, *8* — демпфирующий материал; *б* — схема видеопроигрывателя: *1* — стол, *2* — видеопластинка, *3* — электродвигатель, *4* — направляющие с видеоснимателем, *5* — воздушный поток, *6* — приводной вал, *7* — тросик, *8* — барабан, *9* — привод подачи.

Если при проигрывании видеопластинки на некоторое время отключить механизм перемещения видеоснимателя, то головка будет следовать по одному и тому же витку спирали. В этом случае на экране телевизора будет воспроизводиться один и тот же кадр изображения.

Существуют видеопластинки, предназначенные для воспроизведения с помощью емкостной головки. Рабочий слой этой видеопластинки, так же как и у пластинки, предназначенной для воспроизведения отраженным лучом лазера, покрыт тонкой металлической пленкой, поверх которой нанесен слой пластмассы. Одна обкладка электрического конденсатора является металлизированным слоем видеопластинки, а вторая обкладка — тонким металлическим электродом, вставленным в головку видеоснимателя. При перемещении видеопластинки относительно видеоснимателя меняется расстояние между обкладками конденсатора и, следовательно, меняется его емкость. Изменения емкости преобразуются в изменения электрического сигнала.

Использование луча лазера для записи и воспроизведения телевизионных сигналов позволило увеличить плотность записи и полосу записываемых частот. Экспериментальные образцы лазерных видеозаписывающих устройств имеют небольшие размеры и длительность записи около 1 ч на одной стороне диска диаметром 300 мм. При этом практически не ухудшается качество цветного телевизионного изображения.

Глава 7

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Современный цветной телевизор по сравнению с его черно-белым предшественником значительно сложнее по конструкции, электрической схеме и управлению. Он состоит из большого числа активных и пассивных элементов; его габариты и вес достаточно велики, значительно потребление им электроэнергии. Сложным являе ся оборудование студий, ведущих цветные телевизионные передачи. Однако несмотря на это, удельный вес цветных передач в телевизионном вещании непрерывно возрастает. Можно ли назвать пути совершенствования цветных телевизионных приемников, передающей части цветовой телевизионной аппаратуры и телевизионного вещания в целом?

Перспективы в этом отношении — поистине захватывающие. Во-первых, возможна разработка принципиально новых идей по построению систем цветного телевидения, во-вторых, велики возможности в деле совершенствования электрических схем и технологических процессов изготовления цветных телевизоров, в-третьих, видимо, близки к практическому внедрению принципиально новые оконечные приборы цветных телевизионных систем — твердые безвакуумные фотоэлектрические преобразователи и воспроизводящие цветные экраны и, наконец, в нашем социалистическом государстве огромны возможности развития цветного телевизионного вещания.

Безвакуумные фотоэлектрические преобразователи

Передающие камеры цветного телевидения являются довольно сложными и громоздкими устройствами, что в основном обусловлено значительными габаритами передаю-

щих телевизионных трубок и их фокусирующе-отклоняющих систем. В последние годы было предложено большое число фотоэлектрических безвакуумных преобразователей и сопутствующих им электрических схем, внедрение которых в практику позволит сделать передающие телевизионные камеры компактными и легкими. Принцип действия таких устройств основан на использовании некоторых явлений в твердых телах, чем и объясняется их название — твердотельные фотоэлектрические преобразователи. В структуру их входят элементы преобразования световых сигналов в электрические и элементы коммутации, осуществляющие их поочередный опрос (рис. 62, *а*). Если время установления тока в преобразователе меньше времени его коммутации, то выходной видеосигнал пропорционален освещенности светочувствительного участка преобразователя в данный момент времени и наблюдается режим без накопления заряда. Если время установления тока в преобразователе значительно больше времени коммутации элемента, то происходит накопление заряда. В этом случае выходной сигнал оказывается пропорциональным освещенности элемента за весь период кадра.

На рис. 62, *б* представлена схема устройства и включения сканистора, который представляет собой, по существу, безвакуумный вариант однострочной передающей телевизионной трубки, разработанной в 1934 г. советским ученым Г. В. Брауде. В 1938—1941 гг. эту трубку успешно использовали на Ленинградском телевизионном центре для передачи кинофильмов. Сканистор представляет собой полупроводниковую структуру *p—n—p* типа. К эмиттерному (верхнему по рисунку) слою здесь приложено постоянное напряжение U_0, а между эмиттерным и коллекторным слоями приложено пилообразное напряжение встречной полярности. Каждому мгновенному значению пилообразного напряжения соответствует такой участок по горизонтали, в котором сумма напряжений U_0 и U_p оказывается равной нулю. Эта граница нулевого напряжения перемещается вдоль структуры во времени, ибо во времени изменяется величина U_p. Смещение нулевой границы изменяет эффективную площадь фотодиода, ток которого определяется освещенностью со стороны эмиттерного слоя.

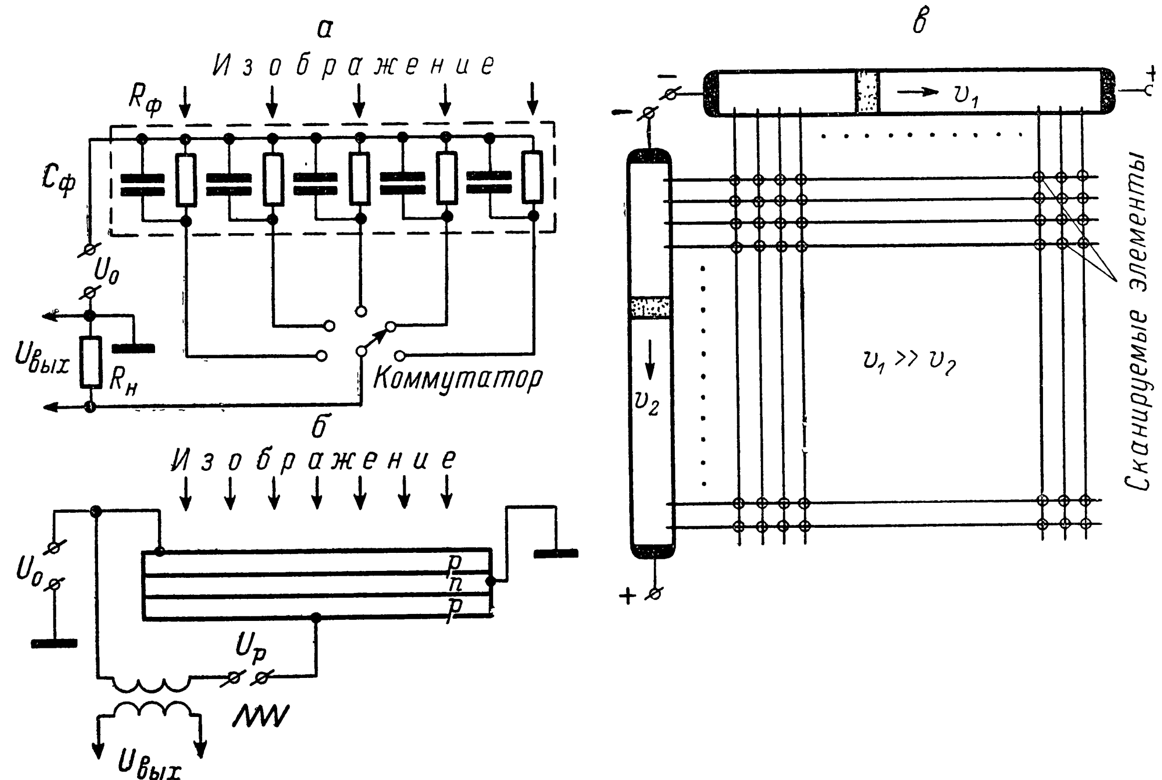


Рис. 62. Функциональная эквивалентная схема фотоэлектрического преобразователя (*а*), схема устройства однострочного преобразователя сканисторного типа (*б*) и твердотельный фотоэлектрический преобразователь (*в*).

На рис. 62, *в* показан твердотельный фотоэлектрический телевизионный преобразователь с накоплением матричного типа. Он состоит из матрицы фотоприемников, расположенных в местах перекрещивания проводящих пленочных полосок. При помощи системы проводящих электродов и коммутаторов осуществляют развертку. В качестве фотоприемников в таких преобразователях используют фоторезисторы (резисторы, сопротивление которых изменяется в зависимости от освещенности), фототранзисторы (транзисторы, освещение базовой области которых приводит к изменению тока коллекторного перехода) и другие структуры.

Существуют опытные образцы цветных телевизионных камер, целиком выполненных на полупроводниковых приборах. Вместо передающих вакуумных трубок здесь используются твердотельные фотоэлектрические преобразователи, основанные на принципе зарядовой связи. Этот принцип заключается в накоплении зарядов в инверсных областях или потенциальных ямах под электродами, электрическое смещение на которых образует под ними обедненные области, и в передаче этих зарядов из-под одного электрода под соседний путем подачи на эти электроды соответствующих импульсов.

Транзисторизация и микроминиатюризация схем цветных телевизоров

Появившиеся четверть века тому назад полупроводниковые приборы позволили осуществить миниатюризацию разнообразной электронной аппаратуры и увеличить ее надежность и долговечность. Этот процесс продолжает развиваться и в настоящее время. Интенсивные работы проводятся по использованию в радиоэлектронике твердых схем и пленочной электроники. Их применение ведет к резкому уменьшению размеров радиоэлектронного оборудования, увеличению его надежности, возможности изготовления функциональных узлов и блоков цветных телевизоров в непрерывном технологическом процессе. Действительно, любую электронную схему можно разбить на участки, состоящие из магнитных, диэлектрических, проводящих и полупроводниковых материалов. Каждый из них можно сделать из тонкой пленки, получаемой

при конденсации вещества из газовой фазы. Набор пакетов из таких элементов, изготовленных в едином технологическом процессе, дает блоки очень малых размеров и обеспечивает плотность монтажа в тысячи раз большую, чем в самой лучшей радиоэлектронной аппаратуре с использованием дискретных элементов схемы, таких как транзисторы, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т. д. Процесс изготовления пленочных схем можно автоматизировать, что в свою очередь позволяет существенно снизить трудоемкость и стоимость изготовления цветных телевизоров.

Еще более перспективна молекулярная электроника — создание так называемых твердых схем. Их изготовление основано на точном, непрерывно контролируемом введении в полупроводниковый кристалл электроактивных примесей, таких как бор, галлий, алюминий, фосфор, сурьма, мышьяк и т. п. С помощью этих примесей в кристалле образуются области, различные по своим свойствам и выполняющие функции сопротивлений, конденсаторов, полупроводниковых диодов, транзисторов и др. Совокупность этих областей образует радиоэлектронную схему в одном блоке. Для создания подобных схем необходимо строго дозировать атомы и вводить их точно в намеченные места кристаллической решетки полупроводника.

Интегральными называются полупроводниковые твердые схемы, имеющие локальные области, соответствующие по своим функциям определенным отдельным элементам. Соединения между элементами обычно выполняются с помощью напыленных проводников. Интегральная схема заключена в герметизированный корпус и имеет систему выводов для присоединения ее к другим схемам.

Еще большие возможности микроминиатюризации аппаратуры и повышения ее надежности дает применение функциональных схем. Здесь уже возможно отождествлять отдельные структурные области с элементами радиосхем.

В настоящее время изготовители цветных телевизоров ориентируются на применение съемных функциональных плат-модулей, что позволяет упростить и удешевить ремонт телевизоров. Модульный принцип конструирования цветных телевизоров особенно эффективен при унификации схемных блоков.

Начиная с 1967 г. промышленностью выпущены цветные телевизоры следующих типов: «Радуга-4», «Рекорд-

101» — с трубками 40ЛК2Ц; «Рекорд-102» — с трубкой 40ЛК4Ц; «Радуга-5», «Радуга-703», «Радуга-704», «Рубин-401», «Рубин-707», «Рубин-710», «Рубин-711», «Рекорд-705», «Рекорд-706», «Электрон-703», «Электрон-706» — с трубкой 59ЛК3Ц.

В последние годы в нашей стране для обеспечения выпуска большого количества цветных телевизоров произведена разработка унифицированных лампово-полупроводниковых телевизоров. Перечисленные выше «Радуга-703», «Радуга-704», «Рекорд-705», «Рекорд-706», «Рубин-707», «Рубин-708Д», «Рубин-710», «Рубин-711», «Электрон-703», «Электрон-706» представляют собой унифицированный телевизор УЛПТЦ-59, выпускаемый несколькими заводами страны под разными названиями и в различном внешнем оформлении.

В новых телевизорах «Рубин-711», «Радуга-716», «Электрон-706» вместо радиоламп шире используются полупроводниковые приборы. Созданы предпосылки для разработки новых моделей цветных телевизоров.

Телевизор состоит из восьми функциональных блоков (селекторов, радиоканала, яркости и цветности, разверток, сведения, питания, коллектора, управления), которые крепятся к футляру телевизора и соединяются друг с другом при помощи разъемов. Для возможности создания различного внешнего оформления при выпуске унифицированной модели несколькими заводами конструктивное решение блока управления не унифицируется. Конструкция телевизора такова, что каждый блок можно проверять и ремонтировать независимо от других.

Телевизор УЛПЦТ-59-II * рассчитан на прием цветного и черно-белого изображений, передаваемых на пяти каналах в диапазоне 48—100 МГц, семи каналах — в диапазоне 174—230 МГц и 19 каналах — в диапазоне дециметровых волн (470—622 МГц). Выбор канала в метровом диапазоне производится с помощью барабанного переключателя блока СК-М-15, а в диапазоне дециметро-

* УЛПЦТ-59-II — унифицированный лампово-полупроводниковый цветной телевизор. Далее указывается размер экрана кинескопа по диагонали в сантиметрах и класс (римская цифра). При модернизации добавляется арабская цифра, являющаяся порядковым номером модернизации. Например, УЛПЦТ-59-II-1 — лампово-полупроводниковый телевизор цветного изображения с размером экрана 59 см, второго класса, первая модернизация.

вых волн — при помощи ручки плавной настройки блока СК-Д-1. Для антенн метровых и дециметровых волн имеются отдельные выводы.

В телевизоре УЛПЦТ-59-II-1 отсутствует блок СК-Д-1. Однако в нем предусмотрены необходимые монтажные соединения для возможности установки такого блока.

С целью изменения окраски изображения в соответствии со вкусами зрителей и характером передачи в унифицированном телевизоре установлены ручки регулировки цветового тона. Помимо своего основного назначения, они удобны и в тех случаях, когда при приеме черно-белого изображения возникает необходимость несколько изменить белый цвет свечения экрана.

Для сохранения постоянными основных электрических характеристик телевизора в процессе эксплуатации, упрощения управления и повышения надежности здесь используются автоматические регулировки: частоты гетеродина, усиления сигнала, частоты и фазы строчной развертки, включения канала цветности при приеме цветного и отключения его при приеме черно-белого изображений, размагничивания теневой маски и бандажа кинескопа при включении телевизора, схемы защиты от перегрузки лампы выходного каскада строчной развертки, ограничения тока пучков, схемы стабилизации размера изображения и напряжения на втором аноде кинескопа.

В настоящее время цветные телевизоры выпускаются только второго класса. Для более полного удовлетворения запросов потребителей разрабатываются также телевизоры первого и третьего классов.

Телевизоры первого класса могут иметь настольное, консольное или мебельное оформление и размер экрана по диагонали не менее 67 см. Такой телевизор должен обеспечивать максимальный комфорт в процессе эксплуатации. В нем будут клавишный (или кнопочный) выбор каналов с электронной настройкой, максимальное количество автоматических регулировок, дистанционное (проводное или беспроводное) управление, обеспечивающее переключение каналов, регулировку яркости, контрастности, насыщенности цвета, громкости и выключение телевизора. Может быть обеспечена возможность подключения устройств для записи и воспроизведения телевизионной программы. Электроакустическое устройство должно обеспечить максимально высокое качество звучания.

К телевизорам третьего класса относятся устройства с размером изображения экрана по диагонали менее 50 см, а также переносные телевизоры с универсальным питанием. Кроме обеспечения хорошего звучания, такой телевизор должен иметь автоматические регулировки частоты и фазы, усиления сигнала, стабилизации размеров растра, размагничивания экрана кинескопа. Переносные телевизоры необходимо оборудовать встроенной антенной и антенным входом для подключения наружной антенны.

Телевизоры всех классов должны иметь схему, препятствующую появлению мешающего фона, искажений или помех в канале звука после включения телевизора (до появления изображения), схему ограничения тока пучков кинескопа, а также автоматическое и ручное выключение канала цветности при приеме черно-белого изображения.

Большой цветной телевизионный экран

В современных цветных кинескопах максимальный размер диагонали не превышает 67 см. Однако желательно иметь цветные телевизионные изображения большего размера, например близкого к размерам киноэкрана. С увеличением размеров повышается эффект реальности воспроизводимого изображения. Большой цветной экран удобен при коллективном просмотре цветных телевизионных программ.

Цветные проекционные телевизионные системы имеют три проекционные трубки, воспроизводящие три изображения в основных цветах на светорассеивающий экран. Выше были отмечены основные свойства такой системы. Следует добавить, что проекционные кинескопы здесь одновременно являются и источником, и модулятором света, что ограничивает принципиально максимальную контрастность и яркость воспроизводимого изображения.

Светоклапанные воспроизводящие устройства (рис. 63, *а*) используют световой клапан, управляющий слой которого при воздействии на него электрической энергией позволяет сформировать оптическое изображение. Подводимая к этому слою электрическая энергия изменяет оптические свойства слоя (показатель преломления, поляризующие свойства, коэффициент поглощения) и тем самым меняет светопропускание пропорционально вели-

чине подведенного телевизионного сигнала. Источником электрической энергии обычно является электронный пучок, который легко модулировать и отклонять. С помощью

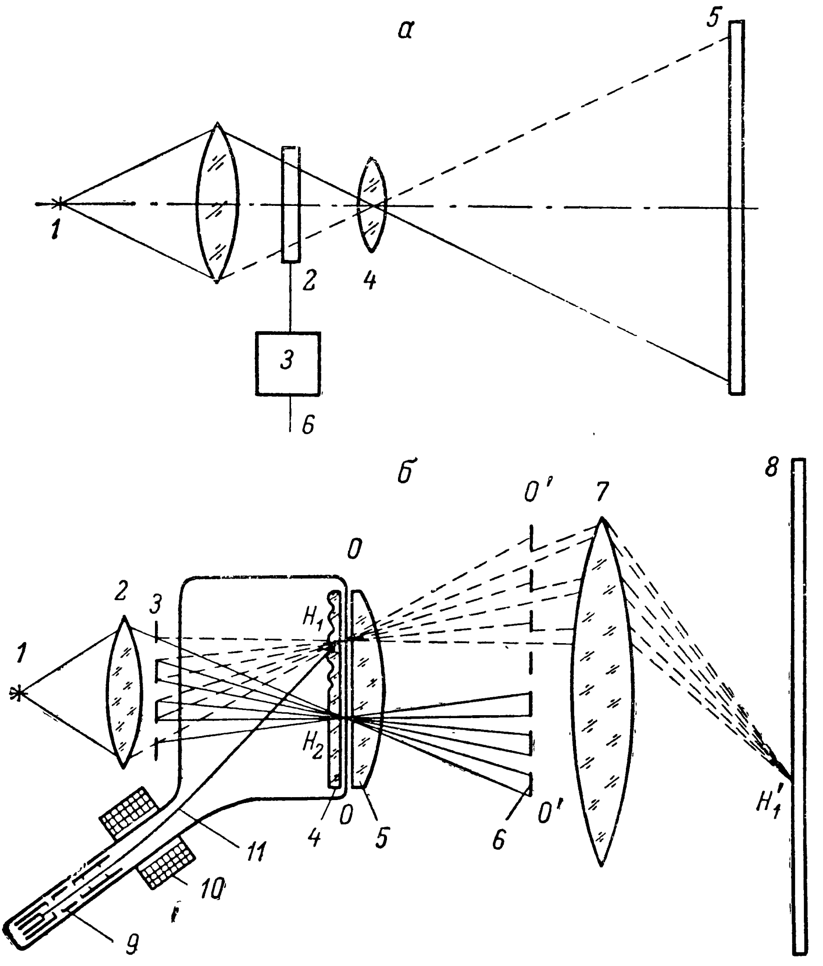


Рис. 63. Схема диаскопической телевизионной проекционной системы.

а — модуляция независимого источника света: *1* — источник света, *2* — световой модулятор, *3* — видеоусилитель; *4* — проекционный объектив, *5* — светорассеивающий экран, *6* — видеосигнал; *б* — дифракционный модулятор света: *1* — источник яркого света, *2* — конденсор, *3* — решетка, *4* — модулирующая жидкость, *5* — объектив, *6* — решетка, *7* — объектив, *8* — светорассеивающий экран, *9* — электронная пушка, *10* — фокусирующе-отклоняющая система, *11* — электронный пучок.

соответствующих оптических систем формируется видимое изображение, которое можно увеличивать и проецировать на светорассеивающий экран.

В телевизионных проекционных системах с модуляцией светового потока независимого источника света функции излучения и модуляции светового потока разделены, поэтому яркость и контрастность изображений могут быть значительными. Для получения изображения больших размеров и большой яркости недостаточно только использования принципа модуляции независимого интенсивного источника света. Необходимо еще, чтобы модулятор обеспечивал высокое быстродействие.

Цветные телевизионные изображения площадью в десятки квадратных метров можно создавать с помощью дифракционного модулятора света (рис. 63, *б*). Источник яркого света (кратер дуговой лампы) *1* с помощью конденсора *2* создает равномерное освещение в плоскости *OO*, в которой расположен тонкий слой модулирующей жидкости *4*. Вблизи конденсора *2* установлена решетка *3* из чередующихся параллельных прозрачных и непрозрачных полос. С помощью объектива *5*, установленного вблизи плоскости *OO*, изображение решетки *3* фокусируется в плоскости *O'O'*, где установлена вторая решетка из чередующихся полос. Эта вторая решетка ориентирована в пространстве так, что изображения светящихся промежутков решетки *3* попадают на непрозрачные полосы решетки *6*, если поверхность модулирующей жидкости плоская. В этом случае свет от точки H_2, находящейся в плоскости *OO*, дальше решетки *6* не проходит.

Если же поверхность вязкой жидкости *4* облучить электронным пучком, то она деформируется, и лучи света в этой точке отклонятся от первоначального направления (вследствие дифракции света) и частично пройдут сквозь щелевую систему *6*, образуя на светорассеивающем экране *8* изображение. Таким образом, точки, на которые не попадают электроны пучка (например, точка H_2), на экране не изображаются, поскольку свет не проходит через решетку *6*. Если же электронный пучок бомбардирует некоторую точку H_1, то свет преломляется в этой точке пленкой, и на экране появляется светящаяся точка H_1'. Чем интенсивнее электронный пучок, бомбардирующий данную точку, тем ярче светится изображение этой точки, так как бóльшая часть светового потока от источника света *1* пройдет на экран.

Механические и электрические данные жидкости (пленки специального масла) подбираются с таким расче-

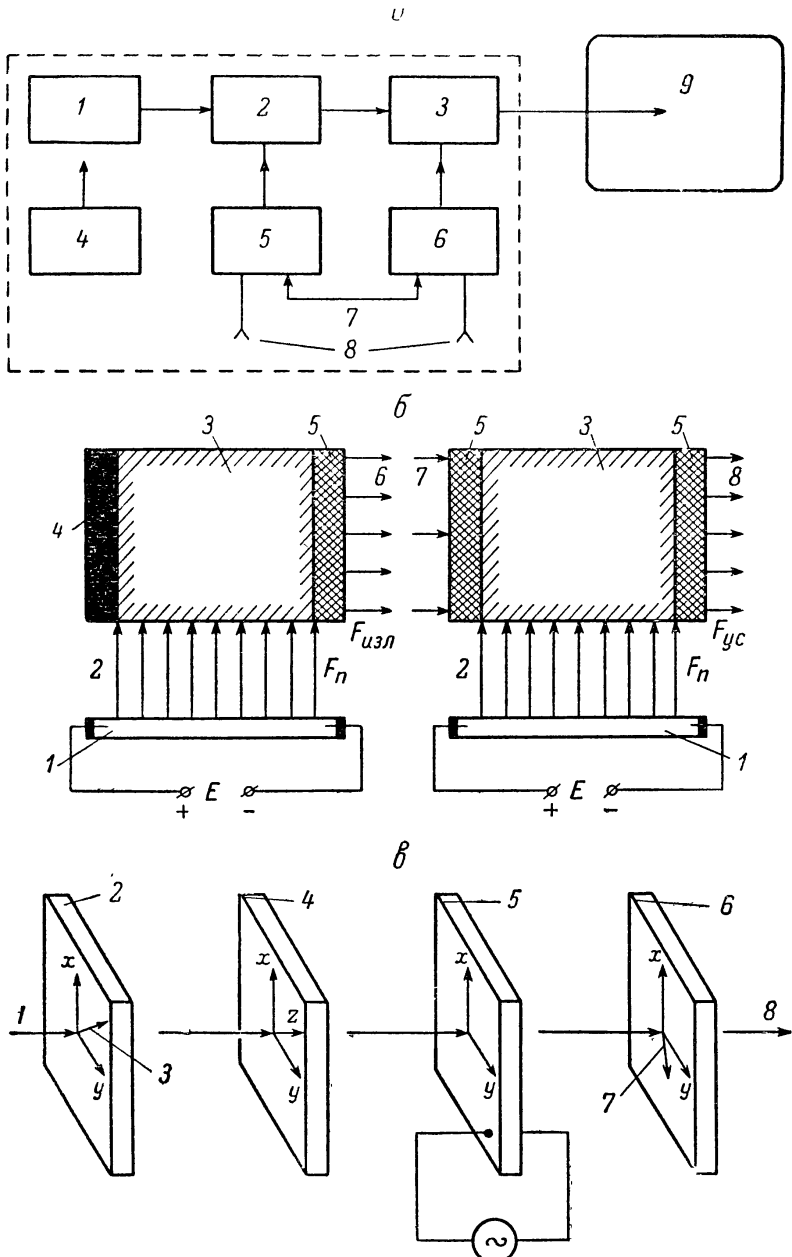


Рис. 64. Принцип действия лазерно-лучевого цветного телевизионного проектора.

а — блок-схема проектора: *1* — лазеры, *2* — оптические модуляторы, *3* — отклоняющие устройства, *4* — источник питания, *5* — схема управления модуляторами, *6* — схема управления отклоняющими устройствами, *7* — инхронизация, *8* — сигналы от вспомогательного оборудования, *9* — экран, *б* — схема устройства квантовомеханических приборов, работающих в режиме генерирования и усиления оптических колебаний: *1* — источник светового сигнала подкачки, *2* — световой сигнал подкачки, *3* — активное вещество,

том, чтобы деформации, возникающие на поверхности масляной пленки, затухали за время, примерно равное времени передачи кадра. Таким образом, поверхность масляной пленки служит модулятором света, обладающим необходимым быстродействием. Электронный пучок, управляемый телевизионным сигналом, прочерчивает на поверхности пленки *4* телевизионный растр, состоящий из определенного числа строк. В результате на пленке *4* образуется потенциальный рельеф, соответствующий воспроизводимому изображению. Электрические заряды, из которых состоит этот рельеф, вызывают деформацию поверхности пленки, управляющей световым потоком. Проходя через щели решетки *6*, световой поток создает на экране *8* соответствующее телевизионное изображение. Развертка пучка производится магнитной отклоняющей системой.

При комбинировании трех оптических систем (по одной на каждый основной цвет) можно создавать цветное изображение при общем источнике света и общих электронных схемах. Основные цвета получают с помощью дихроических зеркал, которые разлагают белый свет, направляя его к соответствующим управляющим слоям. Цветная проекция осуществляется наложением и точным совмещением трех изображений в основных цветах.

Лазерно-лучевой телевизионный проектор в простейшем случае состоит из трех основных узлов: лазеров, модуляторов интенсивности света и устройства управления положением лучей, обеспечивающего их перемещение по двум координатам. Существует несколько методов создания лазерно-лучевого телевизионного проектора. На рис. 64, *а* показан проектор, где на экран направляется собственный свет лазеров. При помощи специальных отклоняющих систем световые пучки лазеров обходят все точки поверхности светорассеивающего экрана.

В лазерах (квантовомеханических генераторах и усилителях света) используются электромагнитные излучения молекул, атомов или ионов вещества и их составляющих

---

4 — зеркало, полностью отражающее свет, *5* — частично прозрачное зеркало, *6* — световой сигнал на выходе прибора, *7* — слабый входной оптический сигнал, *8* — усиленный сигнал; *в* — модулятор интенсивности лазерного луча на основе использования линейного электрооптического эффекта: *1* — луч лазера, *2* — поляризатор, *3* — направление поляризации, *4* — четвертьволновая пластинка, *5* — электрооптический кристалл, *6* — анализатор, *7* — направление поляризации, *8* — модулированный луч лазера.

частиц, называемых квантовомеханическими системами. В этих устройствах при переходе квантовых систем с одного энергетического уровня на другой происходит поглощение или излучение определенных порций энергии — квантов. В квантовых системах частицы искусственно (за счет энергии вспомогательного генератора) переводятся на верхний энергетический уровень (возбуждаются). Под воздействием внешнего поля частица может излучить порцию энергии и перейти на нижний энергетический уровень с меньшей по отношению к первоначальному состоянию энергией. Такое излучение возбужденных микросистем, называемое индуцированным, и используется в квантовых генераторах и усилителях.

На рис. 64, *б* показана схема квантового генератора света. Резонатор образуется двумя точно ориентированными зеркалами. Одно из них совершенно непрозрачно, а другое пропускает небольшую часть (0.5—8%) падающего на него света. Между этими зеркалами возбуждаются колебания, для которых расстояние между зеркалами составляет целое число полуволн. В промежутке между зеркалами помещается активное вещество, в качестве которого может использоваться газ, жидкость или кристалл. Атомы активного вещества должны обладать двумя энергетическими состояниями, разность между которыми соответствует излучению на желаемой частоте. Чтобы индуцированное излучение преобладало над поглощением, необходим избыток атомов в возбужденном состоянии. Атомы переводятся в возбужденное состояние путем «впрыскивания» в систему электромагнитной энергии на длине волны, отличной от длины волны индуцированного излучения. Этот процесс называют накачкой (вспомогательным излучением).

При использовании квантовых приборов в качестве усилителей (рис. 64, *б*), оба зеркала частично покрыты слоем серебра, а мощность источника сигнала накачки может быть значительно меньше, чем в квантовых генераторах. Для усиления светового сигнала расстояние между зеркалами должно позволять получить резонанс на частоте усиливаемого оптического сигнала.

Применительно к цветному телевизионному проектору важны следующие свойства излучения квантовых генераторов: пространственная и временная когерентность (взаимосвязь колебаний, выражающаяся в определенной фазе

и частоте колебаний), цвет и яркость. Лазер представляет собой когерентный источник света. Временная когерентность указывает на узкополосность или однородность лазерного излучения. Узкополосность означает, что излучение основного лазерного источника можно характеризовать 100%-ной чистотой цвета. Путем подбора трех источников света с соответствующими основными цветами и введения их в схему цветного телевизионного воспроизводящего устройства можно воспроизвести необходимую гамму цветов, однако с большей яркостью, чем в других цветных воспроизводящих устройствах.

Яркость рассматриваемого участка изображения прямо пропорциональна коэффициенту яркости экрана, пиковому значению светового потока лазера, световому коэффициенту полезного действия оптической системы, коэффициенту заполнения. Последний равен отношению времени пребывания луча лазера на элементе изображения ко времени воспроизведения изображения.

Модулятор света (рис. 64, *в*) предназначен для наложения изменяющегося во времени видеосигнала на излучение лазера путем изменения во времени его яркости. Если изменения видеосигнала синхронизированы с перемещением луча отклоняющим устройством, то информация сигнала превращается в зрительно-воспринимаемое изображение. Имеется несколько эффективных способов изменения интенсивности луча лазера. Необходимость воспроизведения широкой полосы частот диктует применение электрооптических быстродействующих устройств. При этом в модуляторах возможно применение линейного или квадратичного электрооптических эффектов. На рис. 64, *в* иллюстрируется режим работы кристаллов, обладающих линейным электрооптическим эффектом. Электрическое поле здесь приложено параллельно направлению светового луча.

Первый поляризатор преобразует входной луч в линейно-поляризованный свет. При равенстве нулю напряжения на электрооптическом кристалле последний является одноосным. При этом если поляризованный свет проходит через кристалл в направлении, параллельном оптической оси, то луч света не испытывает никаких возмущений. Поскольку поляризатор и анализатор ориентированы так, что их плоскости поляризации взаимно перпендикулярны, через анализатор свет не пройдет.

Если в направлении оси z электрооптического кристалла приложено электрическое поле, то он становится двухосным. Двухосность кристалла проявляется в различии показателей преломления вдоль осей x и y. При этом на выходе анализатора появляется свет. Интенсивность выходного светового пучка пропорциональна величине приложенного к электрооптическому кристаллу видеосигнала, т. е. на выходе анализатора имеется модулированный световой луч.

Световой луч лазера для получения телевизионного изображения нужно не только промодулировать видеосигналом, но и отклонить по закону телевизионной развертки. Это делается следующим образом.

Телевизионный растр может быть сформирован за счет механического перемещения светоотражающих элементов (например, двух вращающихся многогранных призм). Однако такой системе присущи механическая нестабильность, жесткие допуски на точность изготовления элементов, трудность поддержания синхронизма с источником телевизионных сигналов.

В поисках более совершенных лазерно-лучевых воспроизводящих устройств были созданы развертывающие устройства с пьезоэлектрическим приводом, с применением электрооптических призм и ультразвуковых рефракционных ячеек, дифракционных методов и др. При использовании всех этих методов производят управление пространственным положением луча лазера. При этом не допускают вмешательства в сам механизм лазерного действия.

Имеется, однако, класс устройств, которые являются неотъемлемыми частями лазерной системы. Принципиальной особенностью этих устройств является то, что в них определенными внутренними средствами задается направление излучения лазера, тогда как в ранее рассмотренном устройстве осуществлялось отклонение уже имеющегося пучка света.

Следует заметить, что при создании изображений когерентным светом проявляется зернистость, переливчатость изображений. Это вызывается явлениями дифракции и интерференции электромагнитных колебаний. В настоящее время такие системы находятся еще в стадии лабораторных разработок.

П л о с к и й т в е р д о т е л ь н ы й ц в е т н о й т е л е в и з и о н н ы й э к р а н. Существующие устрой-

ства воспроизведения цветных телевизионных изображений требуют больших мощностей источников питания и имеют значительные габариты и вес. Поэтому создание плоского телевизионного воспроизводящего устройства на основе пленочных и твердотельных схем является насущно необходимым. Поиски решения этой проблемы ведутся во многих странах. Особенно интенсивны они в последние 15 лет. В настоящее время уже имеются лабораторные макеты, описания лабораторной технологии изготовления твердых безвакуумных воспроизводящих устройств на основе использования явлений электролюминесценции совместно с рядом других физических явлений в твердых телах.

Электролюминесценцией называют все виды свечения, возникающие при возбуждении твердого тела переменным электрическим полем. Так, например, электролюминесценция возникает в ряде кристаллов, помещенных в среду изолятора при наложении больших электрических полей. Требуемая напряженность электрического поля составляет 10 000—100 000 В/см. Чтобы получить достаточную напряженность поля в люминофоре при подаче напряжения средней величины, толщина электролюминесцирующего элемента должна быть очень малой. При возбуждении электролюминофора переменным электрическим полем излучается свет, мерцающий с частотой, вдвое превышающей частоту приложенного напряжения, от которой зависит цвет испускаемого излучения некоторых люминофоров.

Различное свечение с изменением частоты может быть получено и иными путями. Можно, например, изготовить многослойный элемент, состоящий из нескольких электролюминесцентных пластин с разными люминофорами и прозрачными промежуточными электродами. Отдельные пластины представляют собой конденсаторы, которые могут быть настроены на различные частоты с помощью последовательно включенных индуктивностей. Каждая такая цепь подключается параллельно источнику напряжения.

Простейший телевизионный плоский экран можно представить в виде двух взаимно перпендикулярных систем параллельных электродов, между которыми помещен электролюминофор. В одной системе число горизонтальных проводников равно числу строк разложения, во второй — число вертикальных проводников равно числу элементов изображения вдоль строки. Если приложить

разность потенциалов к двум электродам, располагающимся по разные стороны люминофора, то будет наблюдаться свечение в точке перекрещивания этих электродов. При помощи соответствующих распределителей, подключая в определенной последовательности к источнику возбуждающего напряжения другие электроды, можно воспроизвести по точкам все изображение.

На практике механические коммутаторы заменяют электронными эквивалентами: линиями задержки, многоконтактными электронно-лучевыми переключателями, частотно-избирательными фильтрами, электронными счетными схемами. Скорость коммутации таких устройств ограничивается необходимостью отвести для засвечивания каждого элемента время, равное длительности нескольких периодов возбуждающего напряжения. Помимо этого, яркость изображения для такой системы при сколько-нибудь значительном числе элементов будет слишком малой. Поэтому любая практическая система должна быть основана на эффекте накопления или запоминания для увеличения времени возбуждения каждого элемента.

Цветное объемное телевидение

При рассматривании живой природы и окружающих нас предметов возникает зрительное восприятие объема. Что же понимается под объемностью? Объемность включает в себя целый ряд понятий — рельефность, трехмерность, пространственность, воздушность, перспективность. Например, при рассматривании ландшафта, охватывающего по глубине большое поле зрения, у нас создается впечатление о воздушной или линейной перспективе. Отдельная деталь объекта создает зрительное восприятие рельефа.

Мир воспринимается объемно главным образом потому, что все окружающие нас предметы обычно мы рассматриваем двумя глазами. Поскольку глаза человека находятся на некотором расстоянии один от другого, то левый глаз воспринимает предмет несколько иначе, чем правый. О различии в зрительном восприятии одного и того же объекта, рассматриваемого каждым глазом в отдельности, можно легко убедиться, если поочередно закрывать то левый, то правый глаз. При рассматривании одним глазом какого-либо предмета *АБ* (рис. 65) на сетчатке полу-

чится изображение $a_2б_2$. На сетчатке другого глаза будет создано изображение $a_1б_1$, отличающееся от изображения $a_2б_2$ размерами и взаимным соотношением деталей. Способность глубинного смещения предметов $А$ и $Б$ оценивается величиной разности углов α и β, которые образуют лучи, идущие от предметов $А$ и $Б$ и попадающие в оба глаза. Эта разность, соответствующая минимальному кажущемуся смещению двух объектов по глубине, называется порогом глубинного зрения и в среднем составляет 10—20″.

Обратная величина называется остротой объемного зрения.

Особо следует подчеркнуть тот факт, что впечатление объемного изображения создается не только за счет некоторой разницы изображений на двух сетчатках, а в большой мере благодаря согласованным действиям аппарата зрения и мозга. Сознание дополняет полученную картину третьим измерением, несмотря на то что каждое из двух изображений является плоским.

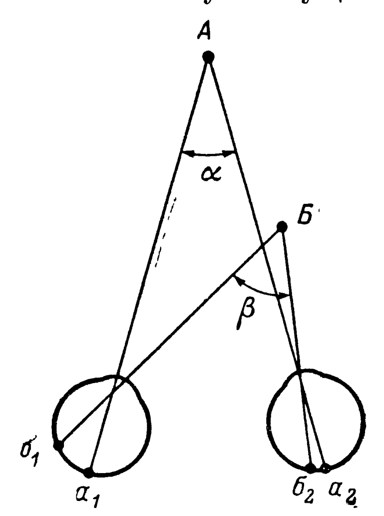


Рис. 65. Схема, объясняющая сущность объемного видения.

Правда, плоская картина дает представление о форме изображения, размерах, расстоянии от наблюдателя до предметов, даже если смотреть одним глазом. Объяснить это можно тем, что в нашей практике мы оцениваем расстояние и размеры окружающих предметов двумя глазами и к ним относим данное наблюдение одним глазом; определить расстояние и размеры позволяет привычка. Имеет значение также аккомодация хрусталика, при помощи которой мы бессознательно чувствуем степень натяжения ресничных мышц и по ней оцениваем пространство. Определенную роль играет бессознательное движение глаза. За короткий промежуток времени получается несколько картин с различных точек зрения, сопоставление которых дает возможность производить пространственную оценку.

Телезритель до некоторой степени способен восприни-

мать рельеф и удаленность предметов, изображение которых воспроизводится в необъемном цветном телевидении. Однако подлинное суждение о глубине при рассматривании двумя глазами одного плоского телевизионного изображения утрачивается. Поэтому для телевизионного воспроизведения объемных изображений необходимо передавать два изображения одного и того же предмета. Принятая стереопара, представляющая собой левое и правое изображения, должна быть разделена так, чтобы левое изображение рассматривалось только левым глазом, а правое — только правым.

Казалось бы, для передачи и воспроизведения цветного объемного изображения требуется шесть сигналов: три сигнала цветоделенных изображений для левого кадра стереопары и три — для правого. Однако исследования показали, что из шести сигналов необходимо и достаточно передавать только четыре: сигнал, несущий информацию о яркости одного кадра стереопары, и три сигнала, несущих информацию о яркости и цветности другого кадра. При этом полоса частот для передачи цветного кадра может быть сокращена до 1.5 МГц, если черно-белый кадр передается со стандартной полосой частот. Исходя из этого исследовательской лабораторией кафедры телевидения Ленинградского электротехнического института инженеров связи им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, руководимой заслуженным деятелем науки и техники проф. П. В. Шмаковым, разработана совместимая система цветного стереотелевидения, соответствующая системе НТСЦ (рис. 66).

На передающей стороне (рис. 66, *а*) шесть сигналов левого и правого (л, п) кадров цветной стереопары от соответствующих датчиков поступают на матричные устройства, на выходе которых образуются яркостные сигналы этих кадров стереопары $U'_{\text{ял}}$ и $U'_{\text{яп}}$. Затем формируются цветоразностные сигналы правого кадра $U'_{\text{кп}}$ и $U'_{\text{сп}}$. Яркостный сигнал $U'_{\text{ял}}$ левого кадра и сигналы правого кадра подаются на смесительное устройство, в котором получается полный сигнал стереоцветного изображения согласно уравнению:

$$U'_{\text{с}} = U'_{\text{ял}} + k_1 U'_{\text{п}}.$$

В приемнике происходит процесс обратного разделения первичных сигналов передачи и формирование из них сигналов, идентичных сигналам на выходе передаю-

щих камер. Сигналы $U'_{\text{ял}}$, $U'_{\text{кп}}$, $U'_{\text{зп}}$ и $U'_{\text{сп}}$ подаются на два кинескопа (рис. 66, *б*): первый — на черно-белый, а остальные — на цветной, где и воспроизводят левое и правое изображения передаваемого объекта. Совмещение двух

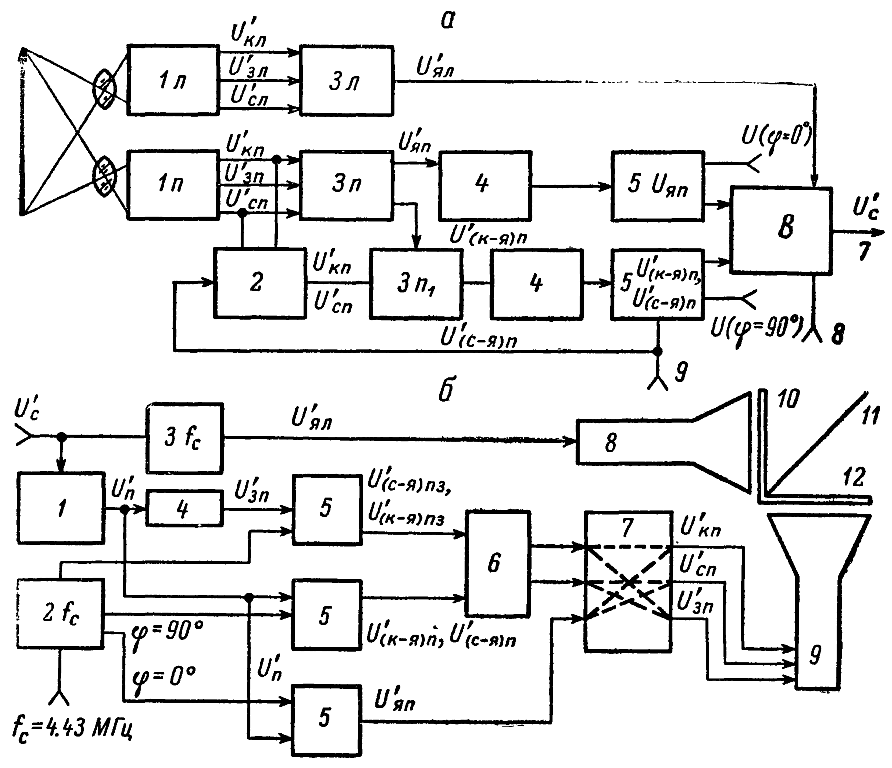


Рис. 66. Схема системы цветного стереотелевидения.

а — передающее устройство: *1* — камера, *2* — коммутатор, *3* — пересчетное устройство, *4* — фильтр низкой частоты, *5* — балансный модулятор, *6* — смесительное устройство, *7* — к передатчику, *8* — полный синхросигнал, *9* — огибающая сигнала вспышки; *б* — приемное устройство: *1* — полосовой усилитель, *2* — усиление и фазирование, *3* — видеоусилитель с режекцией f_c, *4* — линия задержки, *5* — синхронный детектор, *6* — ключевая схема, *7* — пересчетное устройство, *8* — черно-белый кинескоп, *9* — цветной кинескоп, *10* — поляроид ||, *11* — зеркало, *12* — поляроид =.

изображений (черно-белого и цветного) осуществляется при помощи полупрозрачного зеркала, наклоненного под углом 45° к плоскостям экранов кинескопов. Зрителей снабжают очками с поляризационными фильтрами. Это — тонкая пленка из желатины, в которой вкраплено множество микроскопических кристаллов (например, кристаллов

хинина), обладающих способностью пропускать свет, поляризованный в одной плоскости.

Перед экранами кинескопов устанавливаются поляроиды со взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации. Наблюдатель, снабженный очками из таких же поляроидов, увидит каждым глазом только одно, свое изображение.

Развитие телевизионного вещания

К середине 1976 г. в СССР работало более 1770 передающих телевизионных станций, из них 370 мощных. Сеть радиорелейных и кабельных линий протянулась на 67 000 км. Через искусственные спутники «Молния» и стационарные спутники «Экран» и систему 68 наземных станций «Орбита» производится сверхдальняя передача телевизионных программ. В нашей стране 76% жителей могут смотреть передачи первой общесоюзной программы Центрального телевидения. Более двадцати областей РСФСР, пять областей БССР, Киев, Рига и Кишинев смотрят и вторую общесоюзную программу.

С увеличением числа спутников на стационарной орбите и возрастанием мощности аппаратуры на них будет постепенно претворяться в жизнь долгосрочный план развития сети телевидения, согласно которому в конечном итоге на пять вещательных поясов будут передаваться три программы Центрального телевидения. В текущем пятилетии телевизионным вещанием предполагается охватить 85% населения страны.

Для передачи трех цветных программ на всю страну уже недостаточно существующей технической базы на телевизионном техническом центре им. 50-летия Октября в Москве. Однако в ближайшие годы на этом телевизионном центре будет построен Олимпийский корпус (для телевизионных передач во время Олимпийских игр в Москве в 1980 г.), состоящий из 18 аппаратно-программных блоков телевидения и 21 телевизионной студии. После Олимпиады-80 весь этот комплекс будет использован для передачи программы Центрального телевидения на отдаленные районы страны в удобное для жителей этих районов время.

Для международного обмена телевизионными передачами используются линии Таллин—Хельсинки—Стокгольм, Брест—Варшава—Берлин, Львов—Прага—Будапешт, Кишинев—Бухарест—София и земные станции космической си-

стемы связи «Интерспутник» в Берлине, Будапеште, Варшаве, Гаване, Праге, Софии и Улан-Баторе. Для международных передач будет использоваться наземная станция связи со спутниками «Интелсат», построенная в нашей стране согласно межправительственному соглашению между СССР и США. Она оборудуется транскодирующими устройствами для преобразования цветного телевизионного сигнала ряда систем в систему СЕКАМ.

Плановое развитие передающей сети телевидения в нашей стране ведется с использованием типовых проектов и оборудования. На мощных ретрансляторах используются передатчики мощностью 25 или 50 кВт типа «Ураган» и «Лен» (в зависимости от частотного канала) и антенные опоры-мачты высотой 350 м. На ретрансляторах средней мощности устанавливается аппаратура мощностью 5 кВт типа «Якорь» и «Зона», а антенная опора-мачта делается высотой до 250 м. Маломощные ретрансляторы оснащаются передатчиками мощностью 100 Вт или 1—3 кВт, их антенная опора-мачта имеет высоту в несколько десятков метров. Передающая аппаратура непрерывно совершенствуется. В настоящее время все шире внедряется разнообразное автоматизированное оборудование.

К 1976 г. оборудованием для цветного телевизионного вещания были оснащены телевизионные студии Москвы, Ленинграда, Киева, Таллина, Кишинева, Ашхабада, Минска, Вильнюса, Ташкента, Алма-Аты, Еревана, Риги и Тбилиси. Аппаратуру для показа цветных телевизионных фильмов имеют Пермь, Челябинск и Петрозаводск. Строятся новые студии цветного телевидения в Горьком, Йошкар-Оле, Саранске, Минске, Ташкенте, Вильнюсе, Кишиневе, Фрунзе, Баку и Чите. В десятой пятилетке будет продолжен перевод телевизионного вещания на цветное.

Передвижные станции цветного телевидения имеют Москва, Ленинград, Минск, Киев, Кишинев, Ленинск, Ташкент, Ереван, Рига, Баку, Душанбе, Таллин, Тбилиси, Свердловск, Фрунзе, Алма-Ата, Новосибирск, Вильнюс, Симферополь, Ашхабад, Горький, Саратов и Владивосток. В десятом пятилетии наша промышленность продолжит оснащение телецентров страны новейшим оборудованием для цветного телевизионного вещания.

Цветные программы Центрального телевидения принимают более 700 городов.

Постоянно увеличивается производство видеомагнитофонов для записи и воспроизведения сигналов цветного телевидения и объем копирования цветных кинофильмов для демонстрации их по телевидению. Сейчас в стране 99 телецентров имеют средства видеозаписи. Причем не только репортажи, телевизионные спектакли и концерты, но и некоторые телевизионные фильмы не снимаются на кинопленку, а записываются на видеоленту. Вместе с тем продолжаются работы по совершенствованию кинопроизводственной базы телевизионных студий страны.

В нашей стране постоянно увеличивается число часов вещания цветных программ. Если в 1969 г. продолжительность цветных передач в неделю составляла 12 ч., в 1970 г. — 20 ч., то к 1975 г. она была доведена до 42 ч., т. е. по 6 ч. в день. В 1978 г. программы Центрального телевидения будут в основном передаваться в цвете.

День ото дня возрастает аудитория цветного телевидения. Так, например, если в 1970 г. в нашей стране было произведено 60 000 цветных телевизоров, а в 1972 г. — 200 000, то в 1976 г. население получило более 1 млн. цветных телевизоров. Всего в стране к этому времени использовалось 55 млн. телевизоров.

Цифровая техника — революция в цветном телевидении

Цифровая техника ведет активное наступление на телевидение. Одним из препятствий широкого ее внедрения является факт наличия у населения страны 55 млн. телевизоров, работающих по аналоговому принципу. Тем не менее в ряде стран радиовещательные организации разрабатывают технологию цифровой обработки телевизионных сигналов до их передачи в аналоговой форме.

Главное преимущество цифровых методов обработки сигналов заключается в том, что в них допускаются незначительные, контролируемые по уровню искажения сигнала вместо не столь легко контролируемых искажений, которые вносятся при аналоговой обработке. Другие преимущества цифровой обработки телевизионного сигнала по сравнению с аналоговой сводятся к следующему: более надежные и стабильные цифровые схемы не восприимчивы к помехам, благодаря чему улучшается качество изображения; цифровая память позволяет записывать выбранную

видеоинформацию на любое время и считывать ее как в реальном масштабе времени, так и с повышенной или пониженной скоростью; цифровые сигналы нетрудно задерживать, растягивать и сжимать во времени; облегчается взаимное преобразование различных типов международных цветовых сигналов — НТСЦ, СЕКАМ, ПАЛ; проще автоматизировать вещательные станции путем введения компъютерного управления; пропускная способность канала связи пропорциональна полосе частот, тогда как в аналоговых системах она пропорциональна логарифму полосы частот.

В цифровом телевидении сигналы изображения и звука передаются методом импульсно-кодовой модуляции в виде дискретных чисел, очень похожих на информационные сигналы, используемые в электронно-вычислительных машинах. В противоположность непрерывному множеству аналоговых сигналов цифровые сигналы не непрерывны по величине и существуют в виде последовательных во времени дискретных уровней. Сигналы, преобразованные в цифровые коды, могут передаваться по линиям связи на любые расстояния, которые еще позволяют распознавать цифровые коды. Для цифровой обработки аналоговые сигналы изображения и звука должны быть преобразованы в цифровую форму, а перед вещанием — снова в аналоговую форму.

Хотя большинство работ по цифровому телевидению носит экспериментальный характер, в распоряжение телевизионных вещательных станций различных стран начинает поступать цифровое оборудование. Так, например, в Англии цифровой телевизионный журнал «Телетекст» предоставляет зрителю возможность немедленного получения новостей, финансовой информации, спортивных и метеосводок и других данных. Сигналы системы «Телетекст» в виде цифровых кодов, служащие для формирования «страницы» буквенно-цифрового текста на экране телевизора, передаются в составе полного аналогового телевизионного сигнала — во время передачи кадровых гасящих импульсов. Зритель выбирает номер страницы желаемого текста специальным декодером, снабженным кнопочным пультом.

Другим примером успешного применения цифрового телевидения является преобразователь сигналов системы ПАЛ в сигналы цветной телевизионной системы НТСЦ

(Англия) или СЕКАМ. Аналогичные преобразователи начинают находить применение и в других странах в целях облегчения международного обмена цветными телевизионными программами.

Телевизионные игры дома

За рубежом процветает торговля бытовыми телевизионными играми. Бóльшая часть продаваемых в настоящее время бытовых телеигр дает черно-белое изображение. Однако созданы приставки и к цветным телевизорам, которые позволяют формировать на экране цветного телевизора цветные изображения игровой площадки, спортивного инвентаря (ракеток и клюшек), мяча и счета игры. В таких играх, как футбол, бег с препятствиями, волейбол, настольный теннис и др., в текущий момент времени в соответствии с ролями игроков, определяемыми положениями ручек управления участвующих в игре лиц, приставка (она может быть встроена в цветной телевизор) определяет взаимосвязи между мячом и нападающими игроками, защитниками, игровым столом, сеткой и воротами (или барьерами в беге с препятствиями). При игре в футбол на экране отображается игровое поле. Мяч меняет направление своего перемещения, когда он приходит в соприкосновение с воротами защитника, штангами ворот, вратарем или ограничительными линиями. Скорость перемещения мяча можно регулировать. При игре в волейбол на экране появляется боковой вид игровой площадки.

В устройствах, обеспечивающих работу цветного телевизора в режиме проведения игр, широко используются интегральные схемы и цифровая техника. Устройства вводят в телевизор информацию о перемещении игроков, движении спортивного инвентаря и мяча, о направлении игрового действия. Они вырабатывают сигналы красного, синего и зеленого полей или же цветоразностные сигналы, а также звуковые сигналы (например, когда игрок касается мяча, раздается соответствующий звук).

В настоящее время приставки обеспечивают проведение до 9 телевизионных игр дома. Постоянно происходит совершенствование приставок и расширение их функций.

Представляется, что телевизионные игры добавляют телевидению определенный элемент динамичности.

Глава 8

ПРИКЛАДНОЕ ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Внедрение телевидения в народное хозяйство и научные исследования, в систему образования и здравоохранения значительно расширяет возможности творческой деятельности человека. Незаменимым инструментом стали телевизионные установки в деле освоения межпланетного пространства. Во многих случаях достаточно получать на экране видеоконтрольного устройства плоское черно-белое изображение. Но существует много чрезвычайно важных применений телевидения, когда изображение объекта должно быть обязательно цветным. Иногда воспроизведение окраски объекта необязательно, но весьма желательно передать расположение предметов в пространстве. Мало того, зачастую объемное изображение удаленного объекта должно быть в то же время и цветным.

Прикладные телевизионные установки являются автономными. Они не связаны с параметрами существующих в телевизионном вещании стандартов, а поэтому в прикладном телевидении имеется большой простор при выборе конкретных технических решений.

Цветное телевидение в медицине

Для совершенствования мастерства людей любой специальности необходима практика, особенно велика ее роль в хирургии. Здесь имеет значение не только личный опыт, но и систематическое наблюдение за ходом операций, проводимых другими хирургами. Ведь каждая серьезная операция содержит в себе множество редких элементов, из которых складывается подлинное искусство хирурга. Очень важно знакомить врачей и студентов-медиков с применением новейшей хирургической аппаратуры, велико также значение контроля за ходом операции и оказание

в необходимом случае консультации со стороны опытного хирурга.

В Советском Союзе была создана демонстрационная установка, использующая принципы последовательной системы цветного телевидения. Для уменьшения расстояния съемки и удобства эксплуатации установки конструкторы решили совместить камеру с хирургической лампой. Кожух камеры состоит из основания круглой формы, ограниченного венцом, несущим 16 основных светильников. Каждая лампа имеет рефлектор, светорассеивающий экран и светофильтр, защищающий освещаемый объект от теплового воздействия и исправляющий спектральную характеристику лампы накаливания. В верхней части основание закрыто кожухом в виде шарового сегмента. Объектив установлен на основании неподвижно, фокусировка изображения производится при помощи линейного перемещения передающей трубки, размещенной в кожухе горизонтально. Для обеспечения возможности телевизионной передачи сверху вниз между объективом и фотокатодом передающей трубки имеется отражательное зеркало, преломляющее лучи, выходящие из объектива, под углом 90°. Передающая трубка укреплена на специальном кронштейне, вдоль которого она может перемещаться по ходовому винту. С противоположной стороны трубки на том же кронштейне расположен фотоаппарат без объектива. Одновременно с перемещением трубки происходит перемещение фотоаппарата на величину, равную величине перемещения трубки, что позволяет использовать один объектив для телевизионной передачи и фотографирования. На кронштейне трубки располагается синхронный двигатель для вращения диска со светофильтрами со скоростью 500 об./мин.

Вокруг объектива на основании камеры укреплены 6 светильников, специально предназначенных для освещения глубоких разрезов и создающих узкие пучки лучей параллельно оптической оси объектива. Эти светильники являются также аварийными, так как при отсутствии тока в сети они могут работать от аккумуляторов.

Дистанционное управление передающей камерой осуществляется комментатором, чье присутствие необходимо ввиду занятости ведущего операцию хирурга. Хирург-комментатор имеет возможность видеть операционный стол, который снабжен просмотровым телевизионным

устройством. Пульт управления комментатора представляет собой навесной столик, соединяемый с корпусом просмотрового устройства. Внутри столика смонтирован микрофон, громкоговорители, а также блок электронной указки. Электронная указка представляет собой пятно, перемещаемое по воспроизводимым на экранах приемных устройств изображениям.

Цветное телевидение в металлургической промышленности

При нагревании металлов до 1000° С и выше ими эмиттируется достаточно света для образования приемлемого уровня видеосигнала на выходе передающей телевизионной трубки. По цветному изображению на экране видеоконтрольного устройства можно судить о ходе плавки металла, состоянии внутренней поверхности печи, о температуре нагретых кусков металла и т. п. Для решения этих задач в Советском Союзе создана цветная промышленная телевизионная установка с числом строк 525, числом полей 150 и полным числом кадров 25. В ней используется принцип последовательной передачи сигналов основных цветов. В передней стенке передающей камеры этой системы находятся оптические насадки в виде трубы Галилея, вводимые в отверстия специальных охлаждаемых водой форм, замурованных в кладке мартеновской печи. Угол поля зрения оптической системы может изменяться в широких пределах.

Цветное телевидение при исследовании космического пространства

Совсем недавно рассуждения о телевизионных передачах с Луны даже некоторым писателям-фантастам казались беспочвенными разговорами. Сегодня стали привычными сообщения о телевизионных передачах из космоса. Все более широко в оснащении космических летательных аппаратов используются цветные телевизионные установки. Назначение и устройство их различны.

С искусственных спутников систематически передаются тысячи изображений облачного покрова Земли для

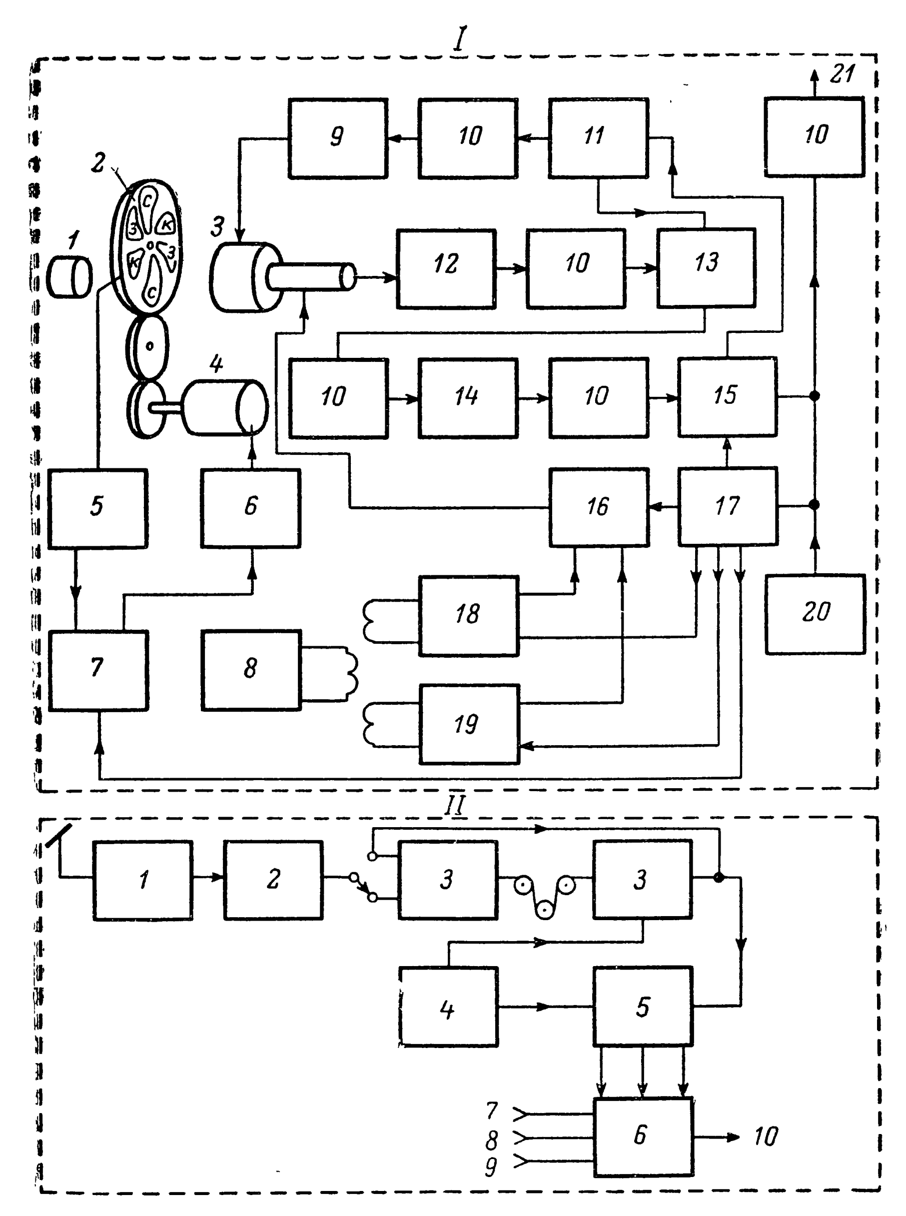


Рис. 67. Блок-схема цветной телевизионной системы космических кораблей «Аполлон».

I — бортовое устройство: *1* — объектив, *2* — диск со светофильтрами, *3* — передающая трубка, *4* — двигатель, *5* — усилитель импульсов диска, *6* — цепи управления двигателем, *7* — цепи синхронизации и управления, *8* — регулировка фокусировки, *9* — источник высокого напряжения, *10* — усилители, *11* — детектор и дискриминатор, *12* — предварительный усилитель, *13* — цепь автоматического регулирования усиления, *14* — цепи апертурной

метеорологических целей. Изображения эти легче дешифрировать, если они цветные. По каналу связи последовательно во времени передаются сигналы трех основных цветов.

В состав бортового телевизионного оборудования на спутниках входят телевизионные передающие камеры и блок телевизионного канала. Камеры рассчитаны на работу в условиях открытого космоса. Они помещены в герметизированные контейнеры и установлены на устройстве, обеспечивающем их наведение на необходимый участок Земли.

На американских космических кораблях «Аполлон-10» и других использовались компактные телевизионные цветные камеры для передачи из космоса изображений Земли, Луны, маневров космических кораблей и обстановки внутри командных отсеков.

Блок-схема системы цветной телевизионной связи (с детализацией бортовой аппаратуры) приведена на рис. 67. Объектив проецирует изображение объекта через светофильтры шестисегментного диска на поверхность фотокатода передающей трубки. По мере вращения диска со светофильтрами на выходе передающей трубки появляются последовательно во времени сигналы красного, синего и зеленого полей изображения. С выхода передающей трубки видеосигнал подводится к предварительному видеоусилителю, собранному на полевом транзисторе. Далее следуют цепи автоматической регулировки усиления, апертурной коррекции, усиления, смешения. С выхода усилителя видеосигнал в 3.5 В подается к бортовому радиопередатчику, мощность которого составляет 20 Вт. С выхода камеры сигнал подается также к бортовому миниатюрному видеоконтрольному устройству. Мощность его 2.5 Вт. Мощность, потребляемая бортовой телевизионной камерой, составляет 20 Вт. В камере имеется два источника постоянного тока, из которых один является высоковольтным.

коррекции, *15* — смеситель, *16* — цепи управления, *17* — синхрогенератор, *18* — генератор колебаний горизонтального отклонения, *19* — генератор колебания вертикального отклонения, *20* — генератор колебаний, *21* — видеосигнал; *II* — наземное оборудование: *1* — телевизионный приемник, *2* — усилитель, *3* — видеомагнитофоны, *4* — генератор колебаний, *5* — цветовой преобразователь, *6* — кодирующее устройство, *7* — синхросигнал, *8* — гасящие импульсы, *9* — сигнал цветовой вспышки, *10* — видеосигнал системы НТСЦ.

Принимаемые наземными станциями сигналы после необходимых преобразований подводятся к двум последовательно включенным магнитофонам. Первый магнитофон записывает информацию обычным способом, тогда как скорость второго, перезаписывающего магнитофона регулируется в соответствии с изменениями частоты приходящих сигналов, обусловленных допплеровским эффектом. От второго видеомагнитофона информация подводится

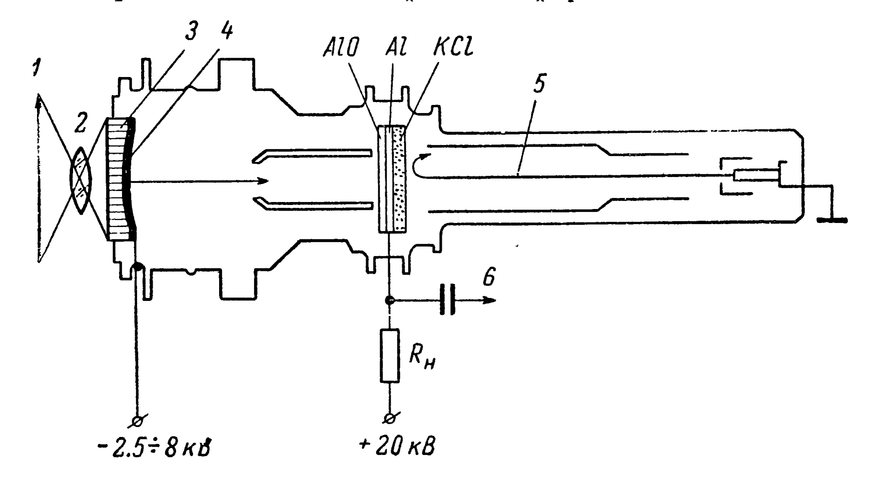


Рис. 68. Схема устройства передающей телевизионной трубки с переносом изображения и мишенью с наведенной проводимостью.

1 — объект; *2* — объектив; *3* — планшайбы из световедущих волокон; *4* — фотокатод; *5* — развертывающий электронный пучок; *6* — к предварительному видеоусилителю.

к цветовому преобразователю, который из сигналов последовательной цветной телевизионной системы образует сигналы одновременной системы цветного телевидения. Полученные сигналы затем преобразуются кодирующим устройством в стандартные сигналы цветной телевизионной системы НТСЦ для последующей передачи по системе телевизионного вещания.

Наиболее существенным элементом бортовой камеры является передающая телевизионная трубка с наведенной электронной проводимостью (рис. 68). Фотоэлектроны, эмиттированные из фотокатода под воздействием световых лучей оптического изображения, ускоряющим электрическим полем направляются к накопительной мишени. Мишень трубки состоит из мелкоструктурной сетки, на которую с одной стороны нанесен тонкий слой алюминия.

На него в свою очередь нанесен слой полупроводника, обладающего сильно выраженной наведенной проводимостью и обращенного к электронному прожектору.

Явление наведенной проводимости представляет собой уменьшение сопротивления диэлектрика или полупроводника при облучении их электронами, обладающими большими энергиями. Ток утечки через полупроводник изменяется монотонно с током облучающего пучка электронов. При определенных условиях изменение тока утечки превосходит изменение тока пучка во много раз, т. е. в данном случае проявляется усиливающее ток действие наведенной проводимости (управление сильным током при помощи слабого тока). Указанное свойство наведенной проводимости можно использовать в процессе заряда мишени передающей трубки с переносом электронного изображения.

Во время работы трубки поверхность мишени, обращенная к электронному прожектору, заряжается до потенциала термокатода. Так как на сетку мишени относительно термокатода подается некоторое напряжение, то элементарные емкости мишени оказываются заряженными. При освещении фотокатода фотоэлектроны с большой энергией (порядка 20 000 эВ) возбуждают в слое полупроводника проводимость, через которую разряжаются элементарные емкости мишени. Величина тока их разряда связана с освещенностью соответствующих мест фотокатода. При очередном облучении электронным пучком элементарные емкости вновь заряжаются, и процесс повторяется. Сигнал снимается с сетки мишени, играющей роль сигнальной пластины. Видеосигнал на нагрузочном резисторе обусловлен протеканием зарядного тока при облучении данного участка мишени электронным пучком.

Эта трубка обладает свойствами, которые делают ее весьма пригодной для применения на борту космического корабля. Она имеет малые размеры и вес, потребляет небольшую энергию от источника электропитания, прочна, стабильна в работе и проста в управлении. К этому надо добавить широкий динамический диапазон, допустимость высоких уровней освещенностей и наличие механизма электрического усиления сигнала в трубке. Малы шумы трубки. Ее малая инерционность особенно важна в цветном телевидении по соображениям устранения цветовых искажений в виде цветовых окантовок.

Требуемая высокая чувствительность передающей трубки обусловлена двумя причинами: малой освещенностью внутри командного отсека космического корабля

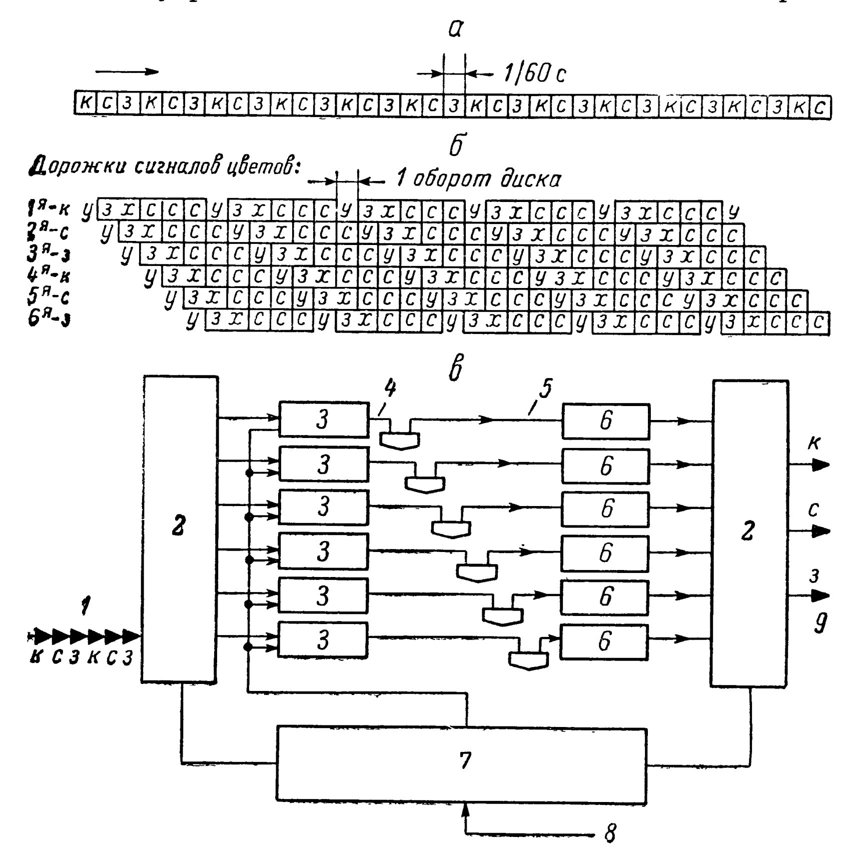


Рис. 69. Цветной преобразователь.

а — последовательный цветной видеосигнал; *б* — последовательность операций обработки сигнала: З — запись, Х — хранение, С — считывание, У — удаление записи; *в* — блок-схема цветового преобразователя: *1* — входной последовательный цветовой сигнал, *2* — видеопереключатели, *3* — усилители 1—6-й дорожек, *4* — сигнал на запись, *5* — считанные сигналы, *6* — усилители, *7* — управляющее логическое устройство, *8* — от цепей синхронизации, *9* — цветовой сигнал к кодирующему устройству системы НТСЦ.

и значительными потерями световой энергии в материале светофильтров диска и объективе (примерно в 500 раз).

В камере предусматривается автоматическая регулировка усиления, производимая трубкой. Эта регулировка производится за счет изменения потенциала фотокатода в пределах от —2500 до —8000 В. Максимальная свето-

вая чувствительность трубки соответствует потенциалу фотокатода —8000 В.

Диск со светофильтрами вращается со скоростью 600 об./мин., а электродвигатель дает 1800 об./мин. Диаметр диска равен 7.5 см. Между шестью сегментами светофильтров имеются непрозрачные области диска, необходимые во избежание наложения соседних цветовых полей.

Специфической особенностью наземного оборудования системы цветной космической телевизионной связи является наличие блока цветового преобразователя (рис. 69). Его коммутирующие логические устройства направляют последовательно идущие сигналы цветоделенных изображений к соответствующим каналам записи на шести дорожках магнитной ленты. После осуществления записи цветовых сигналов производится считывание их, но теперь уже одновременное. Одновременно появляющиеся на выходе кодирующего устройства цветовые сигналы подводятся затем к цветовому кодирующему устройству. Последний и создает стандартный полный видеосигнал системы НТСЦ. Запись на шести дорожках полностью стирается и снабжается новой информацией через каждые 20 оборотов диска в бортовой цветовой камере.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ангафоров А. П.* Оконечные устройства приемников цветного телевидения М., «Связь», 1971.
2. *Бартосяк А.* Система цветного телевидения СЕКАМ. Перев. с польского. М., «Связь», 1968.
3. *Богатов Г. Б.* Телевидение на Земле и в космосе М.; Изд-во АН СССР, 1961.
4. *Богатов Г. Б.* Достижения и задачи современного телевидения. Л., Госэнергоиздат, 1961.
5. *Богатов Г. Б.* Телевизионные передачи из космоса. М., «Наука», 1966.
6. *Брацлавец П. Ф., Росселевич И. А., Хромов Л. И.* Телевидение в освоении космоса.— В кн.: Телевизионная техника. «Связь», 1971.
7. *Бриллиантов Д. П.* О возможностях создания портативного приемника цветного телевидения. — Техника кино и телевидения, 1976, № 10.
8. *Вавилов С. И.* Глаз и Солнце. Изд-во АН СССР, М., 1950.
9. *Голдберг А. А.* Цифровая техника — перспективное средство улучшения телевизионного изображения. — Электроника, 1976, № 3.
10. *Голдовский Е. М., Тельнов Н. И.* О возможностях использования новых методов видеозаписи. — Техника кино и телевидения, 1971, № 6.
11. *Грегг Дж.* Опыты со зрением. М., «Мир», 1970.
12. *Громов Н. В., Тарасов В. С.* Телевизоры. Лениздат, 1971.
13. *Ельяшкевич С. А.* Отыскание неисправностей и настройка цветных телевизоров. М., «Энергия», 1972.
14. *Ельяшкевич С. А., Кишиневский С. Э.* Приемники цветного телевидения. М., «Связь», 1969.
15. *Золотарев В. Ф.* Безвакуумные способы телевизионного преобразования изображений. — УФН, 1971, № 1.
16. *Катаев С. И., Маковеев В. Г., Зубарев Б. Ю.* О некоторых технических средствах обогащения телевизионных программ. — В кн.: Телевизионная техника. М., «Связь», 1971.
17. *Клименко Г. К.* Видеопластинка. М., «Энергия», 1976.
18. *Козинский В. Г.* Телевизионные центры. М., Связиздат, 1961.
19. *Кравков С. В.* Глаз и его работа. Изд-во АН СССР, 1950.
20. *Кравков С. В.* Цветовое зрение, Изд-во АН СССР, 1951.
21. *Красовский В. А., Ефимов Ю. Е., Привознов Г. В., Омельченко* Л. В. Развитие передвижных средств магнитной записи. — Техника кино и телевидения, 1976, № 1.

22. *Кривошеев М. И.*, *Груздев Ю. Б.* Развитие технических средств телевизионного вещания. — В кн.: Телевизионная техника М., «Связь», 1971.
23. *Малкиель Б С* и др. Масочный кинескоп с углом отклонения 110°. — Техника кино и телевидения, 1971, № 1.
24. *Невструева М. А.* и др. Радиационно-гигиеническая характеристика отечественных телевизоров — Гигиена и санитария, 1969, № 11.
25. *Новаковский С. В.* Развитие приемной телевизионной техники. — В кн.: Телевизионная техника. М., «Связь», 1971.
26. *Новик Ф. С.* Вариообъективы для съемки 35-мм кинофильмов и телевидения. — Техника кино и телевидения, 1976, № 3
27. *Пароль Н. В.* Кинескопы. М., «Энергия», 1976.
28. *Певзнер Б М* Системы цветного телевидения. М., «Энергия». 1969
29 *Росселевич И. А*, *Пивоваров С П.* Перспективы развития телевизионных систем. — Техника кино и телевидения, 1971, № 3
30. *Рузанов И В.*, *Пархоменко В. И* Техника магнитной видеозаписи — В кн.: Телевизионная техника. М., «Связь», 1971
31. *Самойлов В. Ф.*, *Хромой Б П.* Системы цветного телевидения. М., «Энергия», 1971
32. *Самойлов В Ф.*, *Хромой Б П.* Телевидение М., «Связь», 1975
33 *Севальнев Л. А.*, *Любенко В Ф.* Передача сигналов цветного телевидения СЕКАМ со звуковым сопровождением через спутник «Молния I». — Электросвязь, 1970, № 5.
34. *Тельнов Н И.* Новые методы записи-воспроизведения цветных телевизионных изображений — Техника кино и телевидения, 1971, № 5.
35. *Техника* систем индикации. Перев. с англ. под ред. А Н. Шеманина и Н. И Иванова М., «Мир», 1970.
36. *Тищенко В Г.* Двухэкранный телевизор — Техника кино и телевидения, 1971, № 8.
37. *Фельдман Л. Д.* Телевизионный прием. М., «Энергия», 1971
38 *Халфин А. М* Телевизионная техника. Л., «Энергия», 1971
39. *Чернышев А. А.*, *Митрофанов А. В.*, *Осипов Е. Н.* и др Основные схемные решения транзисторного цветного телевизора «Электроника ЦТ-100», особенности применения полупроводниковых приборов — Электронная техника, сер. 2, Полупроводниковые приборы, 1971, вып 2.
40. *Чечик А. М.*, *Шлемин А. И.* Качество изображения в цветном телевизоре. М., «Связь», 1975.
41. *Шамшин В* На пути к сплошной телефикации. — Радио, 1975, № 10.
42. *Шендерович А М.* Прием и воспроизведение цветного изображения в телевизионном приемнике. М., «Связь», 1970
43. *Шмаков П. В.*, *Росселевич И. А.*, *Муравьев К. Х.* и др. Цветное телевидение в космосе. — Тр. учебных инст. связи, 1968, вып. 39.
44. *Шмаков П. В.* Цветное телевидение — В кн.: Телевизионная техника. М., «Связь», 1971
45. *Юшкявичюс Г. З.* Телевизионное вещание в десятой пятилетке. — Техника кино и телевидения, 1976 № 7
46. Colour television camera for lunar surface exploration. Telecommun J., 1971, N 3.

47 *Edelson H. D., Marks B. G.* Arcing mechanisms in color picture tubes and reduction of receiver component damage. — JEEE Nov. 1971, BTR-17, N 4.
48. *Grand Yves.* Les bases physiologiques de la television en couleurs. — Inter electron., 1969, 24, N 9.
49. *Feinleib Sidney.* Technological and market forecasting for a flat screen TV. — JEEE Trans. Electron Devices, 1971, 18, N 9
50. *Ferreti Marc.* TV en cassettes une industrie qui se cherche une motiviation a creer. — Haut—parleur Electron prof., 1971, N 1311.
51. *Ingersol Bob.* Plastic platters vie for role in home TV playback battle. — Prod. Eng., 1970, 41, N 17.
52. *Lord A. V.* Advances in colour television cameras. — Electron and Power, 1971, 17, Sept.
53. *MacLed Donald B.* Magnetic discs for video recording. — JSMPTE 1971, 80 N 4.
54. *Spectralex.* Auf dem Weg zur Einrohren—farbernsehkamera. — Funkschau, 1971, 43, N 16.
55 Une nouvelle camera couleur fournissant des images de haute qualite — Electronique, 1971, N 105.
56. *Walker Gerald.* High — voltage tubes fading away. — Electronics, 1971, 44, N 14.

70 коп.



·НАУКА·
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ